



YMPÄRISTÖN-
SUOJELU

Pasi Hellstén, Taina Nystén, Jani Salminen, Kirsti Grandlund,
Taija Huotari ja Veli-Matti Vallinkoski

Kaliumformiaatin hajoaminen maaperässä ja pohjavedessä

– MIDAS-loppuraportti



Pasi Hellstén, Taina Nystén, Jani Salminen, Kirsti Grandlund,
Taija Huotari ja Veli-Matti Vallinkoski

Kaliumformiaatin hajoaminen maaperässä ja pohjavedessä

MIDAS-loppuraportti

HELSINKI 2004

Julkaisu on saatavana myös Internetistä
www.ymparisto.fi/julkaisut

ISBN 952-11-1622-6 (nid.)
ISBN 952-11-1623-4 (PDF)
ISSN 1238-7312

Etukannen kuva: Pasi Hellstén
Taitto: Ritva Koskinen

Paino: Edita Prima Oy, Helsinki 2004

Alkusanat

MIDAS-tutkimuksen (**M**igration of **A**lternative **D**e-icing **C**hemicals in **A**aquifers) tavoitteena oli tuottaa tietoa liukkaudentorjunta-aineiden vaikutuksista pohjaveden laatuun sekä löytää vähiten veden laatua muuttavia ja ympäristöä kuormittavia natriumkloridille vaihtoehtoisia aineita. Alunperin tutkimus koostui vuosina 1998 - 2001 toteutuneista laboratoriokokeista sekä sitä 2001 - 2003 seuranneesta maastokoevaiheesta. Ensin vertailtiin natriumkloridin (NaCl), kalsiumkloridin (CaCl₂), magnesiumkloridin (MgCl₂), kaliumformiaatin (Kfo), kaliumasetaatin (KAc) ja kalsiummagnesiumasetaatin (CMA) kulkeutumista ja hajoamista maasuodattimissa. Näiden Suomen ympäristö -julkaisusarjassa (numerot 515 ja 552) esitettyjen tutkimustulosten perusteella Kfo osoittautui hajoamisnopeuden, -tehokkuuden ja -tuotteiden perusteella pohjavesivaikutusten kannalta lupaavimmaksi. Lisäksi yhdessä Helsingin yliopiston elintarviketeknologian laitoksen kanssa toteutetut suuntaa-antavat aistinvaraiset tutkimukset osoittivat, että kaliumformiaatin mahdollisesti aiheuttamat virhemaut ja -hajut eivät ole pohjavedessä todennäköisiä.

Kfo:n hajoamisen tutkimusta jatkettiin v. 2002 tässä julkaisussa dokumentoituissa todellisissa maasto- ja pohjavesiolosuhteissa Kauriansalmen pohjavesialueella Suomenniemellä. Kyseinen Kaakkois-Suomessa sijaitseva tutkimusalue valittiin edustamaan pieniä ja matalia pohjavesialueita, joissa orgaanisten liukkaudentorjunta-aineiden mahdollisesti aiheuttamat pohjaveden laadun muutokset olisivat nopeimmin havaittavissa. Yhden talven (2002 - 2003) kaliumformiaatin koekäytön jälkeen alueen kasvillisuuden, maaperän ja pohjaveden laadussa ei havaittu muutoksia seuraavaan talvikauteen mennessä.

Tässä loppuraportissa esitetyt tulokset kannustivat MIDAS-projektin tukiryhmää ja Kaakkois-Suomen tiepiiriä jatkamaan Kfo:n koekäyttöä Kauriansalmen pohjavesialueella myös seuraavana talvena 2003 - 2004 ja seuraamaan mahdollisia ympäristövaikutuksia vuoden 2004 loppuun asti. Lisäksi Kauriansalmen pohjavesialueelta ja aiemmista laboratorio-olosuhteissa tehdyistä maasuodatuskokeista saatuja maalaji-, kerrospaksuus- ja pohjavesiväyhyketietoja hyödynnetään jatkossa valittaessa muita Suomen vedenhankinnan kannalta tärkeitä pohjavesialueita, joilla voitaisiin suositella vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden käyttöä. Laajemmin MIDAS-tutkimuskokonaisuuden tuloksia voidaan tulevaisuudessa soveltaa pääasiassa Suomen hydrogeologisia olosuhteita vastaavilla alueilla, kuten muissa Pohjoismaissa ja Pohjois-Amerikassa.

Suomen ympäristökeskuksen (SYKEN) yhteistyökumppaneita MIDAS-tutkimuksen maastokoevaiheessa ovat (2001 - 2004) olleet Tiehallinto, Ilmailulaitos, ympäristöministeriö, Kemira Oyj, Kuntaliitto, Kansanterveyslaitos, Uudenmaan ympäristökeskus, Turun yliopisto, Vesi- ja viemärlaitosyhdistys ja Geologian tutkimuskeskus. Asiantuntijoina tutkimuksen tukiryhmässä työskentelivät Tiehallinnosta DI Olli Penttinen ja kehitysvastaava Anne Leppänen; Ilmailulaitoksesta jaostopäällikkö Seppo Simola ja ympäristösuunnittelija Tuija Hänninen; ympäristöministeriöstä yli-insinööri Tapani Suomela; Kemira Oyj:stä yksikön päällikkö Jorma Pottala ja DI Timo Nissinen; Suomen Kuntaliitosta yhdyskuntatekniikan päällikkö Jussi Kauppi; Turun yliopistosta maaperägeologian professori Matti Räsänen; Uudenmaan ympäristökeskuksesta ylitarkastaja Heli Herkamaa; Vesi- ja viemärlaitosyhdistyksestä verkostoinsinööri Mika Rontu; Kansanterveyslaitoksesta profes-

sori Terttu Vartiainen ja FT Ilkka Miettinen; Geologian tutkimuskeskuksesta TKT Heikki Vanhala; sekä SYKEstä dosentti Kirsten Jørgensen, TKL Matti Valve ja FM Birgit Kemiläinen. Tukiryhmän asiantuntijat ovat seuranneet ja arvioineet tutkimuksen edistymistä sekä tehneet ehdotuksia tutkimussuunnitelmaan. Lisäksi tukiryhmällä on ollut hyvin toimivaa yhteistyötä Kaakkois-Suomen tiepiirin tiemestarin Juhani Valjakan kanssa.

SYKEssä tämän julkaisun maastotutkimusten suunnittelusta ja toteutuksesta vastasivat projektin päätutkija FM Pasi Hellstén ja vastuullinen johtaja FT Taina Nystén; DI Jani Salminen tutki Suomen Akatemian rahoituksella formiaatin biohajoavuutta maa- ja pohjavesinäytteistä sekä näytteiden mikrobiaktiivisuutta; FM Risto Mäkinen kokosi SYKEN lumi- ja routa-asemilta routamittausten tietoja ja FL Kirsti Granlund raportoi Kauriansalmen pohjavesialueen hydrometeorologiset taustatiedot. Geologian tutkimuskeskuksesta DI Taija Huotari, DI Katri Vaittinen ja TKT Heikki Vanhala vastasivat geofysikaalisista maavastus- ja IP-mittauksista. Esitutkimuksena FM Veli-Matti Vallinkoski perusti tienvarsikasvillisuuden tutkimuslinjan ja seurasi kasvillisuudessa tapahtuvia muutoksia. Lisäksi maastotöissä, valokuvauksessa ja/tai kieliasun muokkauksessa ovat oman panoksensa antaneet SYKEN kollegat TKL Matti Valve, PhD(diss.) Anna-Liisa Kivimäki, TKL Sirkku Tuominen, ylitarkastaja Magnus Nyström ja kesällä 2002 harjoittelija Kimmo Rasa. Julkaisun kuvien viimeistelyn on tehnyt SYKEN kuvankäsittelijä Sirkka Vuoristo ja taiton julkaisusihteeri Ritva Koskinen. Tämä asianomaisten tekemä työ on ollut välttämätön osa laajan maastotutkimuksen valmistumista.

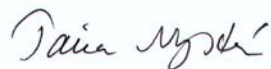
Lisäksi maksullisia laboratoriomäärittelyksiä on tehty Geologian tutkimuskeskuksen laboratoriossa, Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen laboratoriossa ja Kansanterveyslaitoksen Kuopion laboratoriossa.

Tiehallinnolta, Ilmailulaitoksesta, Kemira Chemicals Oy:ltä ja ympäristöministeriöltä saatu rahoitus on ollut edellytys projektin päätutkijan palkkaukseen, kemiallisten analyysien ostoon ja koejärjestelyjen toteuttamiseen.

Tämän julkaisun virallisina referoijina toimivat ympäristösuunnittelija Tuija Hänninen Ilmailulaitoksesta ja yliassistentti Kirsti Korkka-Niemi Turun yliopistosta.

Esitän kaikille tutkimuksen edistymiseen osallistuneille kiitokset.

Helsingissä helmikuussa 2004



Erikoistutkija Taina Nystén
MIDAS-tutkimuksen vastuullinen johtaja

Sisällys

Alkusanat	3
I Johdanto	7
2 Tutkimusalue ja -menetelmät	9
2.1 Tutkimusalueen kuvaus	9
2.2 Koejärjestely	11
2.3 Tutkimusjakson sääolojen seuranta	11
2.4 Maaperätutkimukset tutkimusalueella	12
2.4.1 Maatutkaluotaus	12
2.4.2 Maavastus- ja IP-mittaus	13
2.4.3 Porakonekairaus ja pohjavesiputkien asennus	14
2.5 Pohjavesitutkimukset	14
2.6 Kasvillisuustutkimukset	17
2.7 Formiaatin biohajoamisen ja mikrobiaktiivisuuden määrittäminen	18
2.7.1 Formiaatin aerobinen hajoaminen pohjavesi- ja maaperänäytteissä	18
2.7.2 Formiaatin aerobinen hajoaminen maanäytteissä	18
2.7.3 Formiaatin anaerobinen hajoaminen maanäytteissä	18
2.7.4 Maanäytteiden aerobinen hiilidioksidintuotto	19
2.7.5 Maanäytteiden anaerobinen metaanintuotto	19
3 Tutkimustulokset ja tulosten tarkastelu	20
3.1 Liukkaudentorjunta tutkimusalueella	20
3.2 Tutkimusjakson hydrometeorologiset olosuhteet	20
3.3 Tutkimusalueen topografia	22
3.4 Tutkimusalueen maaperä	23
3.5 Tutkimusalueen pohjavesi	25
3.6 Aikaisemman tiesuolauksen vaikutukset pohjaveden laatuun	30
3.7 Kaliumformiaatin vaikutukset pohjaveden laatuun	34
3.8 Kasvillisuustutkimukset	34
3.9 Formiaatin biohajoaminen ja mikrobiaktiivisuus maa- ja pohjavesinäytteissä	35
3.9.1 Formiaatin aerobinen hajoaminen	35
3.9.2 Formiaatin aerobinen ja anaerobinen biohajoaminen maa-pohjavesi- lietteissä ja näytteiden hiilidioksidin- ja metaanintuotto	36
3.9.3 Arvio formiaatin biohajoamisesta Kauriansalmen koealueen maaperässä	37
3.10 Tilastollinen tarkastelu	37
4 Johtopäätökset	39
Kirjallisuus	41
Liitteet	42
Kuvailulehdet	51

Johdanto

Suomen ympäristökeskuksessa (SYKE) alkoi vuonna 1997 tutkimus vaihtoehtoisista liukkaudentorjunta-aineista ja niiden kulkeutumisesta pohjaveteen, MIDAS-projekti (Migration of Alternative De-icing Chemicals in Aquifers). Tutkimuksen tarkoituksena oli tuottaa lisää tietoa liukkaudentorjunta-aineiden vaikutuksista pohjaveden laatuun sekä valita näistä vähiten veden laatua muuttava ja ympäristöä kuormittava aine. Maasuodatinpylväskokeissa lupaavimmaksi osoittautui kaliumformiaatti (Hellstén ja Nystén 2001, 2003 sekä Hellstén et al. 2002). Formiaatti hajosi maasuodatuskokeissa nopeasti ja häviämisen arveltiin olevan seurausta formiaatin biohajoamisesta. Kaliumformiaatti on muurahaishapon kaliumsuola (HCOOK) ja sitä käytetään nykyään asetaattien ohella liukkaudentorjunnassa mm. lentoasemilla. Suuntaa-antavien aistinvaraisten tutkimusten perusteella (Kivelä et al. 2003) kaliumformiaatin mahdollisesti aiheuttamat virhemaut ja -hajut eivät ole pohjavedessä todennäköisiä käyttömäärien ollessa yhtäsuuria kuin perinteisellä tiesuolalla. Kaliumformiaatin haitallisuutta tutkittiin laboratoriossa tehdyillä kasvitesteillä (*lemna* ja *Allium Cepa*) sekä entsyymi- (reverse electron transport, RET) ja valobakteeritesteillä (BioTox). Kaliumformiaatti oli *Lemna*-kasvin (pikkulimaska) kasvun estymistestin ja *Allium Cepa* (sipuli) juuren kasvutestien perusteella klorideja haitallisempi (Joutti et al. 2003). Luonnossa yleisesti esiintyvänä orgaanisena yhdisteenä formiaatti on hyvin helposti biohajoava sekä hapellisissa että hapettomissa oloissa ja monet maaperän mikrobit kykenevät hajottamaan sitä (Chapelle 2001, Madigan et al. 2002). Formiaatin imeytyessä maaperään se hajoaa nopeasti mikrobitoiminnan ansiosta haitattomaan muotoon eli hiilidioksidiksi ja vedeksi.

Käytettäessä formiaattia liukkaudentorjunta-aineena yksi olennaisimmista kysymyksistä on biohajoamistoiminnan nopeus maaperässä:

- 1) Miten nopeaa formiaatin biohajoaminen on kylmissä olosuhteissa? On oletettavaa, että formiaatin päätyminen pohjaveteen saattaisi tapahtua keväällä sulamisvesivalunnan seurauksena.
- 2) Käynnistyykö formiaatin biohajoaminen välittömästi aineen päätyessä maaperään? Tähän vaikuttaa olennaisesti se, onko tutkittavan maaperän mikrobisto sellaista, joka käyttää formiaattia ravintonaan.
- 3) Onko niukasti orgaanista ainesta sisältävien pohjavesimuodostumien mikrobitoiminta niin voimakasta,
 - (i) että formiaatin biohajoaminen tapahtuu jo vajovesivyohtyöhykkeessä, jolloin formiaattia ei pääse pohjaveteen asti.
 - (ii) että formiaatti hajoaa biologisesti kyllästyneessä vyöhykkeessä riittävän nopeasti.
- 4) Aiheuttaako formiaatin biologinen hajoaminen välillisesti pohjaveden kemiallisen tai mikrobiologisen laadun heikentymistä?

Tutkimuskohteeksi valittiin Kauriansalmen pohjavesialue, koska muodostuman hydrologinen kierto on jyrkän topografian seurauksena lyhyt ja täten liukkaudentorjunnassa tehtävät muutokset näkyvät oletettavasti pohjaveden laadussa nopeasti. Kauriansalmen pohjavesialueella formiaatin kulkeutuminen pohjaveteen on myös erittäin todennäköistä, mikäli hajoaminen ei ole tarpeeksi tehokasta ja nopeaa, sillä:

- 1) pohjaveden pinta on vain muutaman metrin syvyydellä maanpinnasta;
- 2) pohjavesi on vähähappista/hapetonta;
- 3) maaperä on pääosin hyvin vettä läpäisevää hiekkaa ja soraa ja
- 4) maaperä sisältää vain vähän orgaanista ainesta.

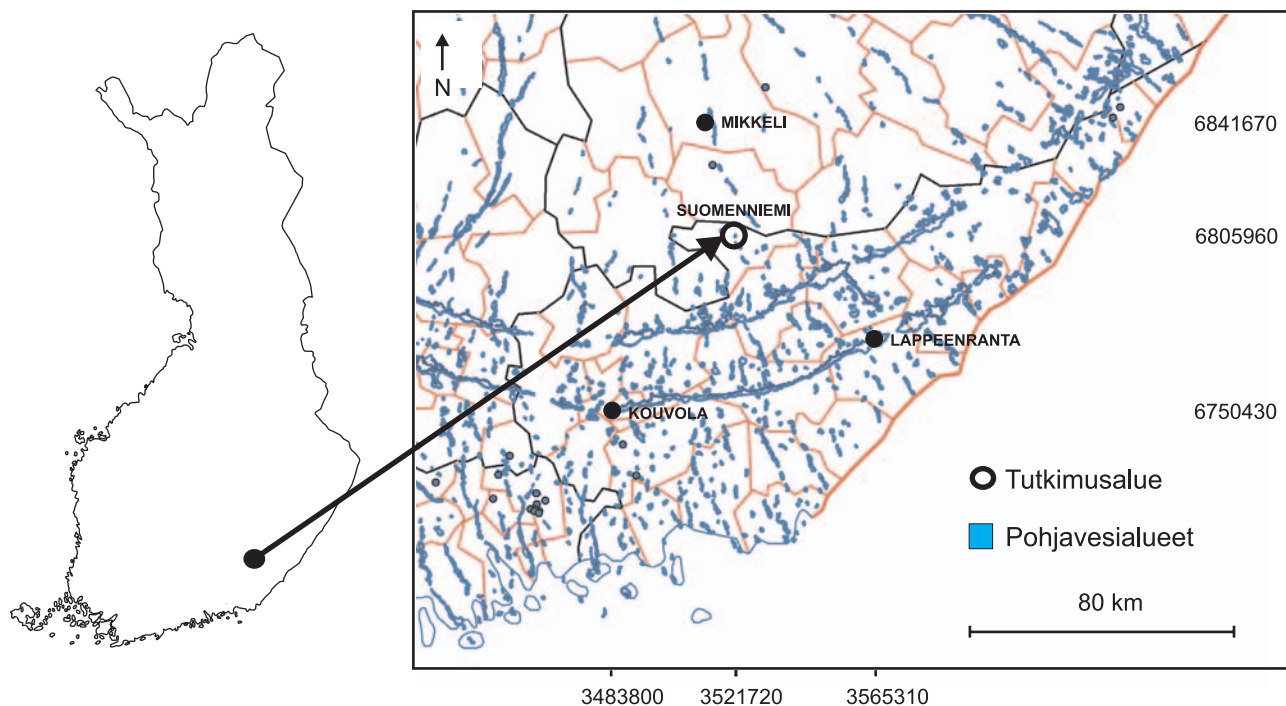
Tutkimuksesta saatuja tuloksia voidaan soveltaa muilla samankaltaisilla pohjavesi-alueilla, joissa perinteinen tiesuolaus on jo aiheuttanut pohjaveden laadun heikentymistä kohonneen kloridipitoisuuden seurauksena. Laajan tutkimuskokonaisuuden tuloksia voidaan tulevaisuudessa hyödyntää teiden ja lentoasemien talvihoidossa sekä suunnattaessa tuotekehittelyä ympäristöä vähemmän rasittaviin liukaudentorjunta-aineisiin.

Tutkimusalue ja -menetelmät

2.1 Tutkimusalueen kuvaus

Tutkimuskohteeksi valittiin Kaakkois-Suomen ympäristökeskuksen alueeseen kuuluva Kauriansalmen pohjavesialue (0577511). Pohjavesialue sijaitsee Mikkelin ja Lappeenrannan välissä vt 13:n varrella Suomenniemen kunnassa (kuva1). Kauriansalmen pohjavesialue valittiin koealueeksi, koska se edustaa tyypillistä suomalaista matalaa pohjavesimuodostumaa. Alueen pienen pinta-alan ja jyrkän topografian takia pohjaveden laadussa tapahtuvien muutosten arveltiin olevan nopeasti havaittavissa.

Kauriansalmen pohjavesialueen kokonaispinta-ala on 0,28 km² ja muodostumisalueen pinta-ala on 0,2 km². Alueen kallioperä on graniittia ja kiillegneissia (Tyrväinen 1990). Pohjavesialueen maaperä on pääosin hiekkaa ja soraa, mutta alueella on myös ohuita heikosti vettä läpäiseviä silttikerroksia, joiden syntyminen viimeisen jäätiköitymisen jälkeen on edellyttänyt hyvin rauhallisia kerrostumisoloja. Pohjaveden pinta on 1-5 metrin syvyydellä maanpinnasta. Maaperän imeytymiskertoimeksi on arvioitu 0,3 eli vuotuisesta sademäärästä arviolta noin kolmasosasta muodostuu pohjavettä. Muodostuma on ympäristöönsä vettä purkava rantaker-



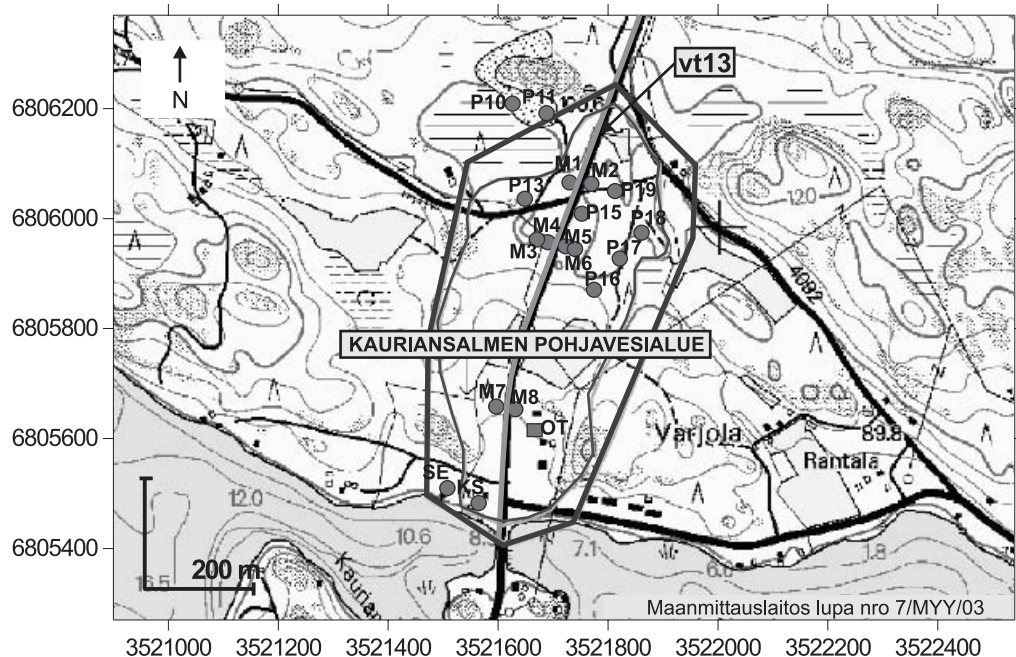
Kuva 1. Tutkimusalueen sijainti

Figure 1. Location of the Kauriansalmi field site.

rostuma, jonka alla on jäätikkösyntyistä harjuainesta. Pohjavesi purkautuu alueen eteläosassa sijaitsevaan kirkasvetiseen Kuolimojärveen, joka kuuluu Vuoksen vesistöalueeseen. Osa pohjavedestä purkautuu pohjavesialueella maanpinnalle ja valuu oja pitkin Kuolimojärveen.

Kauriansalmen pohjavesialueen kasvillisuus on pääosin puolukkatyyppin kangasmetsää, mutta alueen eteläosissa on paikoin havaittavissa myös lehtomaista aluskasvillisuutta. Kallionpinnan vaihtelevuuden ja heikosti vettäläpäisevien silttikerrosten seurauksena alue on paikoin soistunutta. Alueella on myös viljelykäytöstä poistettuja peltoja ja useita soranottoaikoja.

Kauriansalmen pohjavesialueella asutus on keskittynyt Kauriansalmen vedenottamon läheisyyteen, josta ympärillä olevat kiinteistöt saavat talousvetensä (kuva 2). Vedenottamo on otettu käyttöön vuonna 1984 ja sen kokonaisantoisuudeksi on arvioitu koepumppauksissa 10-15 m³ vuorokaudessa. Keskimääräinen käyttömäärä on viime vuosina ollut noin 4,5 m³ vuorokaudessa. Pohjaveden happamuuden (pH 5,8) ja korkean rautapitoisuuden (> 0,2 mg l⁻¹) takia ottamalla käytetään kalkkikivisuodatusta veden laadun parantamiseksi. Ottamon vedenlaatua heikentää myös korkea kloridipitoisuus (>25 mg l⁻¹) joka on peräisin vt 13:n liukkaudentorjunnassa käytetystä tiesuolasta eli natriumkloridista. Muutamalla alueen kiinteistöistä on oma rengaskaivo ja osa ranta-asukkaista käyttää Kuolimojärven vettä talousvetenä. Tiehallinto on asentanut 1990-luvun alussa pohjavesialueelle pohjavesiputkia (P10-P18), joita se käyttää tiesuolauksen aiheuttamien pohjavesivaikutusten seurannassa. Osa näistä putkista todettiin maastokäyntien perusteella toimintakelvottomiksi tai kadonneiksi (kuva 2).



Kuva 2. Kauriansalmen pohjavesialue, alueella kulkevat suolattavat tiet, pohjavesiputket, yksityiskaivot ja Kauriansalmen vedenottamo. Tutkimuksen yhteydessä alueelle asennettiin 8 uutta pohjavesiputkea (M1-M8).

Figure 2. The map of the Kauriansalmi aquifer, traversing roads, monitoring wells, private wells and the Kauriansalmi water works. The monitoring wells M1-M8 were installed in May 2002.

2.2 Koejärjestely

Talvikaudella 2002-2003 levitettiin Suomenniemen Kauriansalmen pohjavesialueen halki kulkevalle vt 13:lle noin 1,7 km pituiselle matkalle natriumkloridin tilalla 50 p-% kaliumformiaattiliuosta. Pohjaveden muodostumisalueella kulkevan tieosuuden pituus oli 0,76 km. Liukkaudentorjuntakokeilu ulottui Kauriansalmen pohjavesialueen ulkopuolelle, koska koealueen ulkopuolella käytettävän natriumkloridin kulkeutuminen liikenteen mukana koealueelle haluttiin estää. Kaliumformiaattia levitettiin pakettiautoon rakennetulla suutinlevittimellä (kuva 3) kulloinkin alueella vallinneiden sää- ja keliolojen perusteella. Koealueelle asetettiin nopeusrajoitukseksi 60 km h⁻¹ ja liukkaudentorjuntakokeilusta varoitettiin liikennemerkeillä.



Juhani Valjakka

Kuva 3. Kaliumformiaatin levitys tapahtui pakettiautoon rakennetulla suutinlevittimellä.
Figure 3. Potassium formate was applied on the road using a sprinkler system.

2.3 Tutkimusjakson sääolojen seuranta

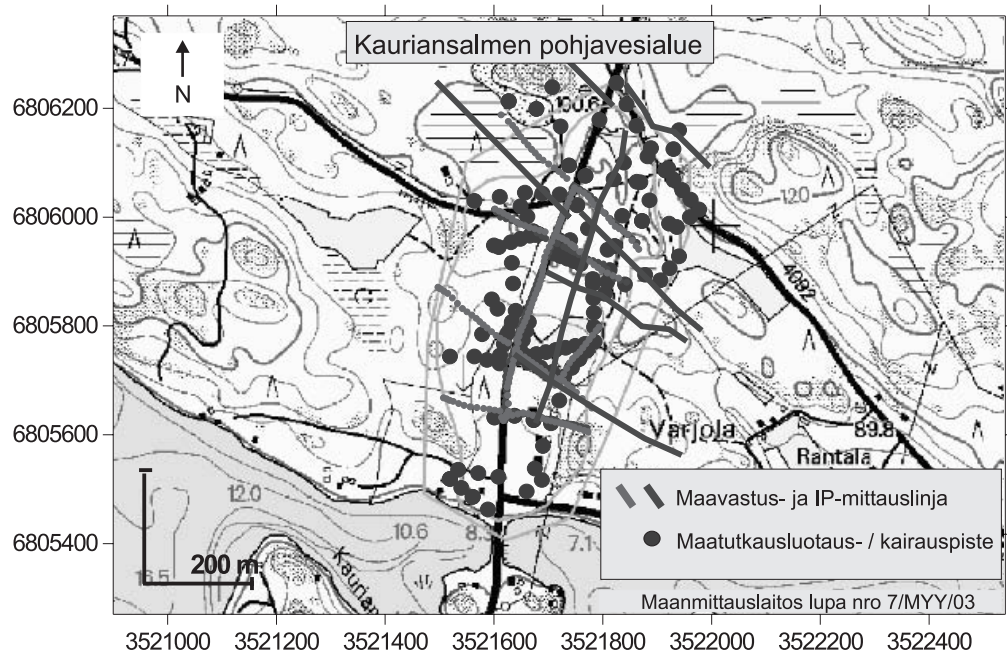
Päivittäistä sademäärää ja ilman lämpötilaa mitattiin tutkimusjakson (1.10.2002-30.9.2003) aikana Tiehallinnon sääasemalla, joka sijaitsee vajaan kilometrin etäisyydellä tutkimusalueesta. Näitä arvoja verrattiin Ilmatieteen laitoksen Mikkeliissä n. 40 kilometrin päässä sijaitsevan sijaitsevan sääaseman (LPNN numero 2602, Drebs ym. 2002) pitkän jakson (1971-2000) keskiarvoihin. Päivittäisten mittausten perusteella laskettiin sadannan kuukausisummat sekä ilman lämpötilan kuukausikeskiarvot.

Roudan ja lumipeitteen syvyyttä on mitattu Mikkelin Karilassa noin 40 kilometrin päässä tutkimusalueesta sijaitsevalla SYKEN routa-asemaverkostoon kuuluvalla asemalla talvesta 1971/1972 lähtien. Routa-asemilla on routaputkia sekä aukealla että metsässä. Mittaukset tehdään routakaudella kunkin kuun 6., 16., ja 26. päivänä. Routakauden 2002-2003 mittauksia verrattiin jakson 1971-2000 keskimääriin tuloksiin.

2.4 Maaperätutkimukset tutkimusalueella

Kauriansalmen pohjavesialueen maaperän, pohjaveden ja kallioperän topografian selvittämiseksi alueella tehtiin maatumkaluotauksia ja porakonekairauksia kesällä 2002 (kuva 4). Maaperän pintaosan sähköisen rakenteen ja tiesuolan leviämisen laajuuden määrittämiseksi alueella suoritettiin kesällä 2002 vastusluotaus- ja IP (indusoitu polarisaatio) -mittauksia (Vaitinen 2003). Vuonna 2003 valittiin uudelleen mitattaviksi linjat, joilla edellisenä vuonna oli havaittu viitteitä kohonneista kloridipitoisuuksista pohjavedessä. Näin pyrittiin saamaan näyttöä kloridipitoisuuksien mahdollisesta pienenemisestä pohjavedessä kaliumformiaatin korvattua perinteisen tiesuolan. Kauriansalmen maanpinnan topografiaa määritettiin käyttämällä apuna kaikkia maanpinnan tasoon vaaitettuja mittapisteitä ja topografiakarttaa.

Kauriansalmen pohjavesialueelta kerätyt maanpinnan, pohjaveden ja kallioperän korkeustiedot siirrettiin Surfer®-ohjelmaan, jossa kustakin aineistosta interpoloitiin kolmiulotteinen pintamalli.



Kuva 4. Kauriansalmen pohjavesialueella vuosina 2002 ja 2003 tehdyt vastusluotaus- ja IP-mittauslinjat sekä maatumkaluotaus- ja kairauspisteet.

Figure 4. Geophysical surveys conducted in the field site in 2002 and 2003 included electrical resistivity measurements and induced polarisation (IP) gauging (gray lines). Ground penetrating radar and boreholes are indicated with dots.

2.4.1 Maatumkaluotaus

Maatumkaluotaus perustuu lähetettävän tutka-aallon erilaiseen käyttäytymiseen sähköisesti erilaisissa väliaineissa (maa- ja kallioperä, keinotekoiset rakenteet). Luotauksessa maankamaraan lähetetään radiotaajuisia sähkömagneettisia pulsseja ja rekisteröidään heijastuspulssin kuluaika ja amplitudi. Aallot heijastuvat väliaineen rajapinnoilta, esim. maakerrosrajoista, tai yksittäisistä kohteista, esim. lohkarista, metalliesineistä ja vesijohdoista. Maatumkaluotauksen avulla saadaan tietoa maaperästä, sen maalajeista ja kerrosjärjestyksestä, pohjaveden pinnan sijainnista, kalliopinnasta sekä joissakin tapauksissa kallioperän rikkonaisuudesta. Luotaus toimii parhaiten lajittuneissa karkeissa maalajeissa, kuten esim. hiekassa ja sorassa, jolloin syvyysulottuvuus voi olla jopa 30 metriä. Sähköä hyvin johtavissa maala-

jeissa, kuten savessa, tunkeutumisvyvyys on pieni tai olematon. Maatutkaluotauksen tulkinnan apuna käytetään muilla menetelmillä, kuten kairauksella, kerättyä tietoa maalajeista ja kallionpinnasta (Peltoniemi 1988).

Tässä tutkimuksessa maatutkaluotaus tehtiin RAMAC/GPR-maatutkalla (Malå GeoScience) käyttäen 100 ja 200 MHz:n antennia (kuva 5). Maatutkaluotaukset tehtiin pääosin kesällä 2002, mutta tarkentavia mittauksia tehtiin myös vuoden 2003 syksyllä.



Kirsti Korkka-Niemi

Kuva 5. Maatutkaluotauksia Kauriansalmen pohjavesialueella RAMAC/GPR-maatutkalla (Malå GeoScience) käyttäen 200 MHz antennia.

Figure 5. Ground penetrating radar surveying in the Kauriansalmi field site with RAMAC/GPR (Malå GeoScience) using electromagnetic waves of 200 MHz.

2.4.2 Maavastus- ja IP-mittaus

Vastusluotauksella kartoitetaan maankamaran sähkönjohtokyvyn vaihtelua. Vastusluotausmittauksissa varsinainen mittaus suoritetaan syöttämällä virtaa maahan virtaelektrodien avulla ja mittaamalla maahan syntyneitä potentiaalieroja potentiaalelektrodien avulla. Syntyneeseen elektrodien väliseen potentiaalieroon vaikuttavat sekä maankamaran sähköiset ominaisuudet että mittausgeometria.

Vastusluotauksen syvyyssulottuvuutta voidaan kasvattaa jopa 40 metriin elektrodien asettelua muuttamalla. Syvyyssulottuvuuden kasvattaminen heikentää kuitenkin menetelmän erottelukykä. Vastusluotauksista, toisin kuin maatutkaluotauksista, voidaan käyttää myös alueilla, joilla pintakerros on hyvin sähköä johtavaa savea (Peltoniemi 1988).

Tässä tutkimuksessa vastusluotausmittaukset tehtiin automaattisella Sting/Swinft-monielektrodimittalaitteistolla (Advanced GeoSciences Inc) käyttämällä Wenner-elektrodijärjestelmää (kuva 6).

IP-mittaus on vastusluotauksen laajennus, jossa mitataan ominaisvastuksen lisäksi sähkökemiallista polarisaatioilmiötä eli IP-efektiä (Sharma 1997). IP-mittauksella saadaan vastusluotauksista paremmin tietoa maaperän raekokojakaumasta ja vedenjohtavuudesta.

IP-mittaukset tehtiin käyttämällä Scintrexin IPR-12 vastaanotinta ja IPC-9/200W kantiaaltolähetintä. Elektronijärjestelmänä IP-mittauksissa oli dipoli-dipoli.



Kuva 6. Kauriansalmen pohjavesialueen vastusluotaukset tehtiin automaattisella Sting/Swinft-monielektrodimittalaitteistolla (Advancen GeoSciences Inc).

Figure 6. Electrical resistivity was measured with an automatic Sting/Swinft multielectrode instrument (Advancen GeoSciences Inc).

2.4.3 Porakonekairaus ja pohjavesiputkien asennus

Kauriansalmen pohjavesialueelle asennettiin toukokuussa 2002 kahdeksan uutta pohjavesiputkea (putket M1-M8). Pohjavesiputket asennettiin raskaalla porakonekairalla (Gerox, Unimoc), joka oli varustettu Tamroc S302 iskuvasaralla ja Rufgo 900-tallentimella (kuva 7). Putket asennettiin vt 13:n molemmille puolille, 15 m ja 30 m etäisyydelle tiestä. Kaikki pohjavesiputket asennettiin kallioon asti. Kallionpinnan saavuttaminen varmistettiin jatkamalla kairasta muutama metri kallioon. Kairan tunkeutumisnopeutta kallioperään seurattiin sen rikkonaisuuden ja ruheisuuden selvittämiseksi. Kairauksessa käytettiin huuhteluvetenä Kuolimojärven vettä. Putkimateriaalina käytettiin PEH-putkea, jonka halkaisija oli 51/63 mm. Pohjavesiputkien siiviläosa ulottui kallion pinnasta pohjavedenpintaan saakka ja siiviläputken päälle asennettiin suodatinsukka estämään hienoaineksen kulkeutuminen pohjavesiputken sisälle. Pohjavesiputket varustettiin lukittavilla kahden metrin pituisilla suojaputkillä.

2.5 Pohjavesitutkimukset

Kauriansalmen pohjavesialueella seurattiin pohjaveden pinnankorkeuden vaihtelua vuosien 2002 ja 2003 aikana, koska haluttiin saada tietoa pohjaveden hydrologisesta kierrosta sekä virtaussuunnista. Pohjaveden pinnankorkeus mitattiin pohjavesiputkista, yksityiskaivoista ja vedenottamolta sähköisellä pinnankorkeusmittarilla (Solinst® Water Level Meter Model 101).

Pohjaveden pinnankorkeuden mittausten jälkeen ennen varsinaista pohjaveden näytteenottoa pohjavesiputkista M1-M8 mitattiin kerroksittain pohjaveden lämpötila, sähkönjohtavuus, happipitoisuus, pH ja redox-potentiaali kenttämitta-



Pasi Hellstén

Kuva 7. Kauriansalmen pohjavesialueella pohjavesiputket M1-M8 asennettiin raskaalla porakonekairalla.
Figure 7. The monitoring wells M1-M8 were installed using a high-capacity drilling machine with water as a circulation fluid.

rilla (YSI 556 MPS). Mittaukset tehtiin 1 metrin välein ylhäältä alas. Kerrosmittausten tarkoituksena oli saada lisää tietoa liukkaudentorjunta-aineen kulkeutumisesta ja vaikutuksesta pohjaveteen sekä pohjaveden laadun luontaisesta vaihtelusta.

Pohjaveden korkeustason sekä kerrosmittausten jälkeen pohjavesiputkista, yksityiskaivoista sekä vedenottamolta otettiin pohjavesinäytteitä talvikaudella 2002-2003 levitetyn kaliumformiaatin ja aikaisemmin alueella käytetyn tiesuolan pohjavesivaikutusten selvittämiseksi. Pohjavesiputkista M1-M8 näytteet otettiin pohjavesipumpulla (Waterra, PowerPack PP1), joka oli varustettu 4-tahtimoottorilla (Honda GX) (kuva 8). Näytteenottoletkut ja pohjaventtiilit olivat HDPE-muovia. Pohjavettä pumpattiin ennen näytteenottoa 20-30 min ajan, kunnes veden laatu pysyi muuttumattomana. Keskimäärin pohjavesiputkesta pumpattu vesimäärä oli lähes 10-20 kertainen putken vesitilavuuteen verrattuna. Pumpauksen aikana mitattiin pumpatun veden lämpötila, sähkönjohtavuus, happipitoisuus, pH ja redox-potentiaali kenttämittarilla. Yksityiskaivoista vesinäytteet otettiin vedennoutimella (Limnos). Kauriansalmen vedenottamolta näytteenotto tapahtui pumppaamon putkistoon liitetystä raakavesihanasta.

Tutkimusjakson 2002-2003 aikana pohjavesinäytteitä otettiin vanhoista pohjavesiputkista (P13-P18) kaksi kertaa, uusista pohjavesiputkista (M1-M8) 11 kertaa, yksityiskaivoista 12 kertaa ja vedenottamolta 15 kertaa (Taulukko 1). Vesinäytteistä analysoitiin mm. kloridi- ja formiaattipitoisuus, orgaanisen hiilen määrä, heterotrofinen pesäkeluku, pääkationit ja -anionit, mikrobien kasvukyky ja alkuainekoostumus (taulukko 2).

Taulukko 1. Kauriansalmen pohjavesialueen näytteenottoaikataulu tutkimusjakson 2002-2003 aikana.
Table 1. Sampling programme in the Kauriansalmi field site in 2002-2003.

pvm (pp.kk.vvvv)	Vedenottamo	pv-putket M1-M8	pv-putket P13-P18	Yksityiskäivöt KS, SE
26.03.2002	X		X	X
10.05.2002	X		X	X
05.06.2002	X	X		X
04.09.2002	X	X		X
12.11.2002	X	X		X
10.12.2002	X			
19.01.2003	X	X		X
28.01.2003	X			
11.03.2003	X	X		X
08.04.2003	X	X		X
06.05.2003	X	X		X
10.06.2003	X	X		X
30.07.2003	X	X		X
01.09.2003	X	X		X
21.10.2003	X	X		

Taulukko 2. Kauriansalmen pohjavesinäytteiden analyysien tutkimusmenetelmät ja yksiköt.

Table 2. Chemical and microbiological analyses (standard methods and units) of groundwater samples.

Analyysi	Menetelmä/Standardi	Yksikkö
Kloridi, Cl ⁻	SFS-EN ISO 10304	mg l ⁻¹
Formiaatti, HCOO ⁻	Nestekromatografi, UV-detektointi	mg l ⁻¹
Orgaanisen hiilen kokonaismäärä, TOC	SFS-EN 1484:1997	mg l ⁻¹
Heterotrofinen pesäkeluku 22°C	SFS-EN ISO 6222	pmy ml ⁻¹
Alkaliteetti, HCO ₃ ⁻	Standard Methods..20 th ed. method 2320	mmol l ⁻¹
Asiditeetti	SFS 3005	mmol l ⁻¹
Sulfaatti, SO ₄ ²⁻	SFS-EN ISO 10304	mg l ⁻¹
Fluoridi, F ⁻	SFS-EN ISO 10304	mg l ⁻¹
COD(Mn)	SFS 3036	mg l ⁻¹
Kokonaistyyppi, N _{tot}	CFA-tekniikka	µg l ⁻¹
Nitraattityppi, N _{NO3}	SFS 3030-mod, autom.	µg l ⁻¹
Kokonaifosfori, P _{tot}	SFS 3026-mod	µg l ⁻¹
Fosfaattifosfori, P _{PO4}	SFS 3025	µg l ⁻¹
Assimiloituva orgaaninen hiili, AOC	Miettinen et al. 1999	µg AOC-C l ⁻¹
Mikrobeille käyttökelpoinen fosfori, MAP	Lehtola et al. 1999	µg MAP-P l ⁻¹
Heterotrofisten bakteerien kasvukyky, HGR	Miettinen et al. 1995	CFU ml ⁻¹
Alkuaineet	ICP-AES, ICP-MS tai AAS	µg l ⁻¹ tai mg l ⁻¹

Huom: ICP-MS = Induktiivisesti kytketty plasma-massaspektrometri, ICP-AES = Induktiivisesti kytketty plasma-atomiemisiospektrometri, AAS = Atomiadsorbtiopespektrometri, CFU = kolonneja muodostava yksilö, pmy = pesäkkeitä muodostava yksilö.

Kauriansalmen pohjavesialueelle asennettiin 19.09.2002 pohjavesiputkeen M8 automaattinen GWM-mittausasema, jossa oli pinnankorkeus-, lämpötila- ja johtokykyanturi (Global Water, WQ301). Pohjaveden pinnankorkeuden ja johtokyvyn seurannan tarkoituksena oli selvittää mistä ja miten suola kulkeutuu pohjavedessä tiealueelta ottamolle ja milloin kulkeutuminen on voimakkainta. Mittaus tapahtui automaattisesti tunnin välein ja pohjaveden pinnankorkeutta, johtokykyä ja lämpötilaa seurattiin tietokoneohjelman (gwms2001) ja tekstiviestien avulla päivittäin. Näytteenoton ja virtalähteen latauksen (8 V akku) yhteydessä mittauksia ei suoritettu.



Pasi Helistö

Kuva 8. Pohjavesinäytteenottoa Kauriansalmen pohjavesiputkella M8 keväällä 2003.
Figure 8. Groundwater sampling at the monitoring well M8 in spring 2003.

2.6 Kasvillisuustutkimukset

Kauriansalmen kasvillisuustutkimusten tarkoituksena oli antaa alustava arvio kalmiumformiaatin mahdollisista vaikutuksista tienvarren kasvillisuuteen. Alueen tienvarsikasvillisuutta valokuvattiin kesä- ja syyskuussa 2002 sekä kesällä 2003. Koealueen varteen perustettiin tienvarsikasvillisuutta kuvaava kasvillisuuslinja 26.9.2002. Linjan kasvilajit ja niiden kunto inventoitiin uudelleen yhden talvikauden formiaatin koekäytön jälkeen 9.8.2003.

Koealueena olevan noin kilometrin mittaisen tieosuuden lähiympäristössä on suhteellisen runsaasti ihmistoimintaa; asutusta, peltöjä ja soranottoalueita. Kasvillisuuslinja pyrittiin sijoittamaan pohjavesialueelle mahdollisimman tyypilliseen ympäristöön ja parhaiten sitä vastasi alueen eteläreunassa oleva kapea, lähinnä puolukkatyyppin kangasmetsää edustava metsäkaistale. Tälle alueelle perustettiin kiinteä ruutulinja, jonka kokonaispituus on 16 metriä ja ruutujen yhteismäärä 9. Neliön muotoisten ruutujen pinta-ala oli $0,49 \text{ m}^2$ ($0,70 \text{ m} * 0,70 \text{ cm}$) ja yksittäisten ruutujen välinen etäisyys 2 m. Ensimmäinen ruutu oli noin yhden metrin etäisyydellä ja kauimmainen noin 17 metrin etäisyydellä tiestä. Tämän etäisyyden ajateltiin kattavan myös aurauksessa lentävän sohjon ja lumipölyn vaikutuksia. Linjaus tehtiin kohtisuoraan tietä vasten.

Kaikista ruuduista määritettiin lajit, arvioitiin niiden peittävyysprosentit ja tehtiin silmämääräinen kuntoarvio. Kuntoarvioinnin tarkoituksena oli havaita vuoden ajasta riippumattomien tekijöiden mahdollinen vaikutus kasvien nykytilaan. Lajikohtainen peittävyys luokiteltiin asteikolla +, 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 30, ..., 90, 100 %. Kuntoarviossa kasvien lajikohtainen yleiskunto luokiteltiin asteikolla hyvä, tyydyttävä, huono ja kuollut.

2.7 Formiaatin biohajoamisen ja mikrobiaktiivisuuden määrittäminen

Formiaatin biohajoamista Kauriansalmen maaperä- ja pohjavesinäytteissä tutkittiin mineralisaatiokokeiden (mineralisaatio = täydellinen biohajoaminen) avulla sekä määrittämällä formiaatin häviämistä maaperä-pohjavesi-lietteissä. Pohjavesinäytteitä otettiin pohjavesiputkesta M1 ja maaperänäytteitä pohjavesiputkien P15 (näyte b) ja M5 (näyte c) vierestä sekä sorakuopan pohjalta läheltä pohjavesiputkea P17 (näyte e) (kts. kuva 2). Tutkimuskohteen maaperän ja pohjaveden kokonaismikrobiaktiivisuutta tutkittiin määrittämällä

- a) maanäytteiden hiilidioksidin tuottoa aerobisissa olosuhteissa
- b) maanäytteiden hiilidioksidin ja metaanin tuottoa anaerobisissa olosuhteissa
- c) pohjavesinäytteiden solulukumääriä.

2.7.1 Formiaatin aerobinen hajoaminen pohjavesi- ja maaperänäytteissä

20 ml pohjavettä tai noin 13 g maata laitettiin pulloon ja pullo suljettiin tiiviisti kumitulpalla, johon oli kiinnitetty lasikauha. Kustakin näytteestä valmistettiin 3 rinnakkaista sekä yksi kontrollinäyte. Kontrollinäytteeseen lisättiin 3 ml 4 M H_2SO_4 :a. Lasikauhaan injektointiin tulpan läpi noin 0,7 ml 1 M NaOH:a. Tämän jälkeen näytteiden lämpötilan annettiin tasaantua usean tunnin ajan halutulle tasolle (+6, +1 tai -2 °C) inkubointikaapissa, jonka jälkeen kuhunkin näytteeseen injektointiin tulpan läpi 300 ml ^{14}C -kaliumformiaattiliuosta, jonka aktiivisuus oli 100 000 DPM. Mikrobitoiminnan seurauksena ^{14}C -kaliumformiaatista syntynyt $^{14}\text{CO}_2$ kerättiin NaOH-träpistä, siirrettiin 4,6 ml:an nestetuikeliuosta (OptiPhase HiSafe 3, EG&G Wallac) ja tilalle injektointiin 0,7 ml 1 M NaOH:a. $^{14}\text{CO}_2$:n sisältämä radioaktiivisuus määritettiin nestetuikelaskimella (Wallac).

2.7.2 Formiaatin aerobinen hajoaminen maanäytteissä

200 ml pulloon mitattiin noin 30 g tutkittavaa maanäytettä sekä 75 ml liuosta, joka sisälsi autoklaavilla steriloitua pohjavettä havaintopisteestä M1, johon oli lisätty kaliumformiaattia siten, että formiaattipitoisuus oli 25 mg l^{-1} . Kustakin näytteestä valmistettiin 3 rinnakkaista sekä yksi kontrollinäyte. Kontrollinäytteet valmistettiin lisäämällä pohjavesiliuoksen asemesta 0,1 M NaOH:a, joka sisälsi 0,09 % NaCl:a. Näytteitä pidettiin +6 °C:ssa ravistelijassa (150 rpm) ja valolta suojattuna. Formiaattipitoisuutta maa-pohjavesi-lietteistä seurattiin ionikromatografian avulla (Dionex DX-100, ICE-AS6-kolonne, AMMS-ICE-supressori, johtokykydetektori).

2.7.3 Formiaatin anaerobinen hajoaminen maanäytteissä

120 ml seerumipulloon mitattiin noin 30 g tutkittavaa maanäytettä sekä 75 ml liuosta, joka sisälsi autoklaavilla steriloitua pohjavettä havaintopisteestä M1, johon oli lisätty kaliumformiaattia siten, että formiaattipitoisuus oli 25 mg l^{-1} sekä natriumtioglykolaattia (0,05 % (w/v)). Liuosten lisääminen tapahtui anaerobikaapissa. Kustakin näytteestä valmistettiin 3 rinnakkaista sekä yksi kontrollinäyte. Kontrollinäytteeseen lisättiin NaOH:a. Näytteitä pidettiin +6 °C:ssa ravistelijassa (150 rpm)

ja valolta suojattuna. Formiaattipitoisuutta maa-pohjavesi-lietteistä seurattiin ionikromatografian avulla (Dionex DX-100, ICE-AS6-kolonne, AMMS-ICE-supressori, johtokykydetektori).

2.7.4 Maanäytteiden aerobinen hiilidioksidintuotto

Noin 10 g maanäytettä laitettiin 120 ml seerumipulloon ja pullo suljettiin tiiviisti butyylikumikorkilla. Hiilidioksin muodostumista seurattiin Easy Quant –hiilianaalysaattorilla (Salminen *et al.* 2003).

2.7.5 Maanäytteiden anaerobinen metaanintuotto

Noin 10 g maanäytettä laitettiin 120 ml seerumipulloon ja pullo suljettiin tiiviisti butyylikumikorkilla. Metaanin muodostumista seurattiin kaasukromatografilla (GC-FID, HP5920) (Salminen *et al.* 2003).

maalia vuodenaikaisvaihtelusta aiheutuvia muutoksia. Vesianalyysien perusteella kaliumformiaatin sisältämä kalium todennäköisesti pidättyi maaperään, sillä kaliumpitoisuuksissa ei tutkimuskauden aikana havaittu muutosta. Biohajoamiskokeet osoittivat, että formiaatin hajoaminen käynnistyi nopeasti (alle 3 h) alhaisissa lämpötiloissa (+6, +1 ja -2 °C). Formiaatin hajoaminen oli nopeinta pintamaanäytteissä (5-15 cm), joissa orgaanisen aineksen määrä oli suurin (5,4 % kuivapainosta). Tutkimustulosten perusteella formiaatin voidaan olettaa hajonneen hiilidioksidiksi ja vedeksi tien läheisyydessä pintamaakerroksissa ennen kulkeutumista pohjaveden mukana kauemmaksi. Saatujen tulosten perusteella voidaan olettaa, että Kauriansalmen kaltaisten niukasti orgaanista ainesta ja ravinteita sisältävien hiekkaisten pohjavesimuodostumien mikrobiaktiivisuus on riittävää formiaatin hajoamiselle kylmissä olosuhteissa.

Vaihtoehtoisena liukkaudentorjunta-aineena käytettävän kaliumformiaatin vaikutuksista tienvarsikasvillisuuteen ei yhden kasvillisuuslinjan perusteella voida tehdä johtopäätöksiä. Jos kaliumformiaatilla olisi haittavaikutuksia tienvarsikasvillisuuteen näkyisivät ne todennäköisesti piennaralueen heinävaltaisessa lajistossa.

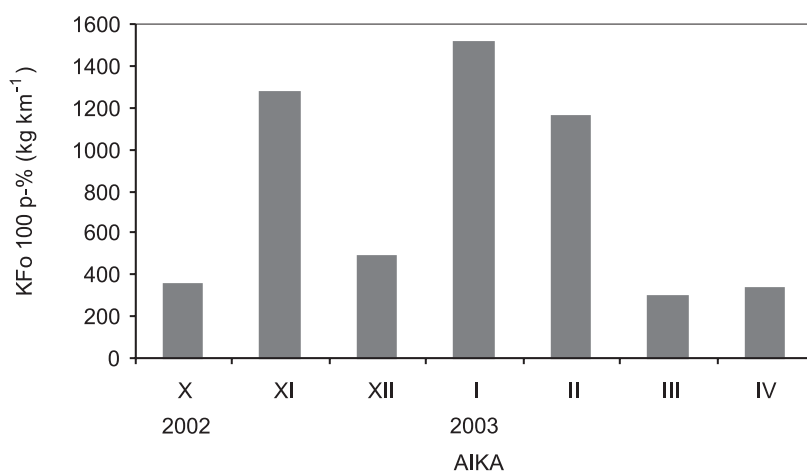
Pohjaveden laadussa tutkimusvuoden aikana mahdollisesti huomaamatta jääneiden vaikutusten sekä pidempiaikaisen käytön vaikutusten selvittämiseksi kaliumformiaatin käyttöä liukkaudentorjunnassa jatketaan Kauriansalmen pohjavesialueen läpi kulkevalla vt 13:lla vielä talvikaudella 2003-2004. Samalla saadaan lisää tietoa mm. sääolosuhteiden vaikutuksesta formiaatin käyttömääriin. Sääolosuhteiden ja liukkaudentorjunta-aineen käyttömäärien mahdollinen vaihtelu eri talvikausien välillä antaa tärkeätä lisätietoa kaliumformiaatin todellisesta soveltuvuudesta vaihtoehtoiseksi liukkaudentorjunta-aineeksi. Lisätutkimuksia tarvitaan myös, jotta pystytään arvioimaan tarkemmin useamman vuoden kaliumformiaatin käytön vaikutukset mm. tienvarsien kasvillisuuteen, maaperään ja pohjaveden mikrobiologiseen laatuun.

Tutkimustulokset ja tulosten tarkastelu

3.1 Liukkaudentorjunta tutkimusalueella

Kauriansalmen pohjavesialueen läpi kulkevalla vt 13:lla kaliumformiaatin käyttö alkoi 6.10. 2002 ja päättyi 6.4.2003 (liite 1). Käyttöpäiviä oli yhteensä 60 kpl. Kaliumformiaattiliuosta (50 p-% vesiliuos) levitettiin 1,7 km tieosuudelle noin 13,6 m³, joka vastaa 9 200 kg puhdasta kaliumformiaattia (100 p-%). Kauriansalmen pohjavesialueelle 0,76 km matkalle levitettiin kaliumformiaattia 4 100 kg. Eniten kaliumformiaattia levitettiin vt 13:lle tammikuun aikana (1 500 kg km⁻¹) sään nopean lauhtumisen takia (Kuva 9). Liukkaudentorjuntaan käytettiin kaliumformiaatin lisäksi myös hiekkaa. Polannetta jouduttiin poistamaan aura-auton alusterän avulla kahdesti talven aikana.

Teoreettinen formiaattipitoisuus tiealueen yhtä neliometriä kohti oli 1 670 mg l⁻¹, kun oletetaan, että liukkaudentorjunta-aine sekoittuu sadeveteen ennen kulkeutumista tieltä maaperään ja että haihtumista ei tapahdu. Vastaavasti laskettu kaliumpitoisuus oli 1 450 mg l⁻¹. Tiealueelta vuoden aikana maaperään valuva keskimääräinen formiaattipitoisuus oli noin 660 mg l⁻¹ ja kaliumpitoisuus 570 mg l⁻¹, kun koko vuoden sademääräksi oletetaan 440 mm.

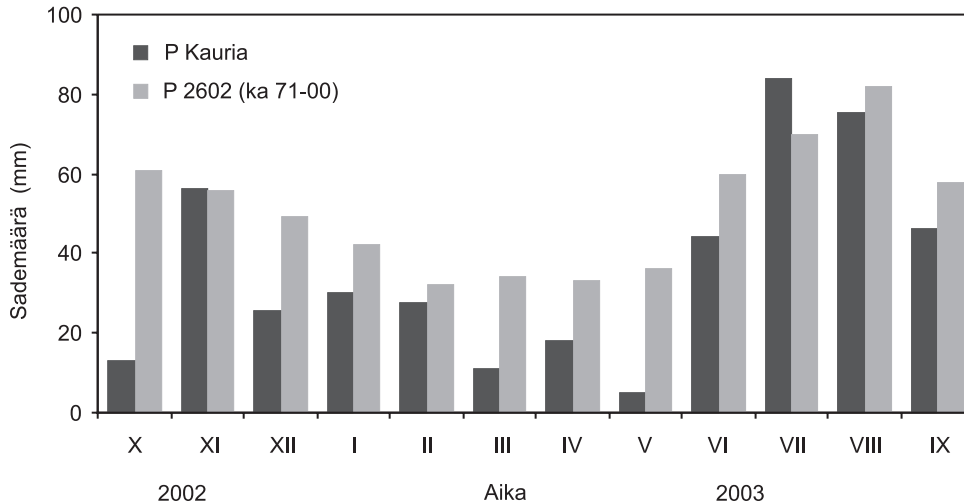


Kuva 9. Kaliumformiaatin käyttömäärät Kauriansalmen pohjavesialueella 6.10.2002-6.4.2003.
Figure 9. Quantity of potassium formate used in the Kauriansalmi field site from 6th October 2002 to 6th April 2003.

3.2 Tutkimusjakson hydrometeorologiset olosuhteet

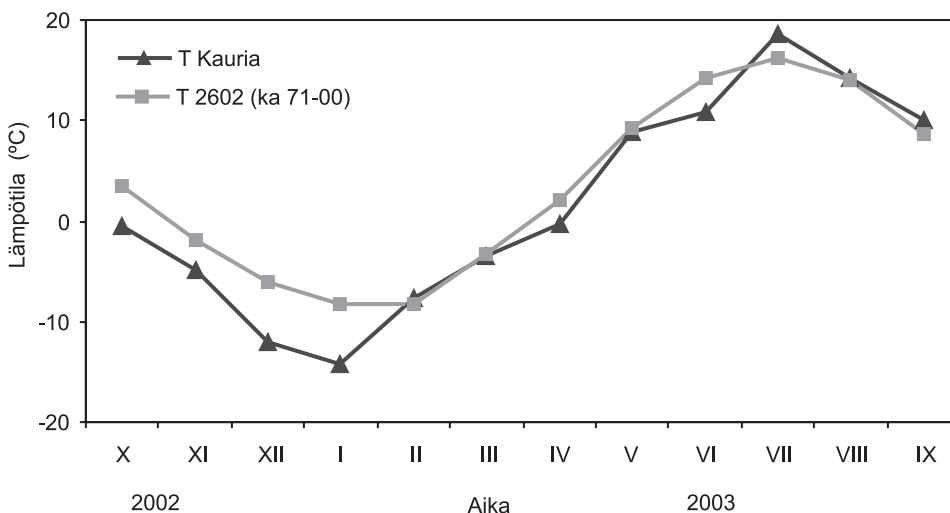
Tutkimusjaksolla (1.10.2002-30.9.2003) ilman lämpötilan vuorokausikeskiarvon alin arvo Tiehallinnon sääasemalla oli -33,4 °C ja ylin arvo 23,2 °C. Tutkimusjakson sadesumma oli 437 mm. Kuukausisadannat olivat syksyllä 2002 selvästi pienempiä kuin vastaavat pitkän jakson arvot lukuun ottamatta marraskuuta (kuva 10). Tilanne jatkui samanlaisena myös vuonna 2003. Ainoastaan heinäkuun sadanta oli suurempi kuin pitkän jakson keskiarvo. Tutkimusalueella mitatut kuukauden keskilämpötilat olivat helmikuuhun 2003 asti alhaisempia kuin vastaavat Mikkeliissä mitatut pitkän jakson keskiarvot (Kuva 11).

Lumipeitteen paksuus Mikkelin Karilan routa-asemalla oli tutkimusjaksolla suurempi aukealla kuin pitkällä jaksolla keskimäärin, samoin roudan syvyys oli suurempi (kuva 12). Metsässä lumipeitteen paksuus oli keväällä 2003 pienempi kuin pitkällä jaksolla ja routa alkoi sulaa keskimääräistä aikaisemmin.



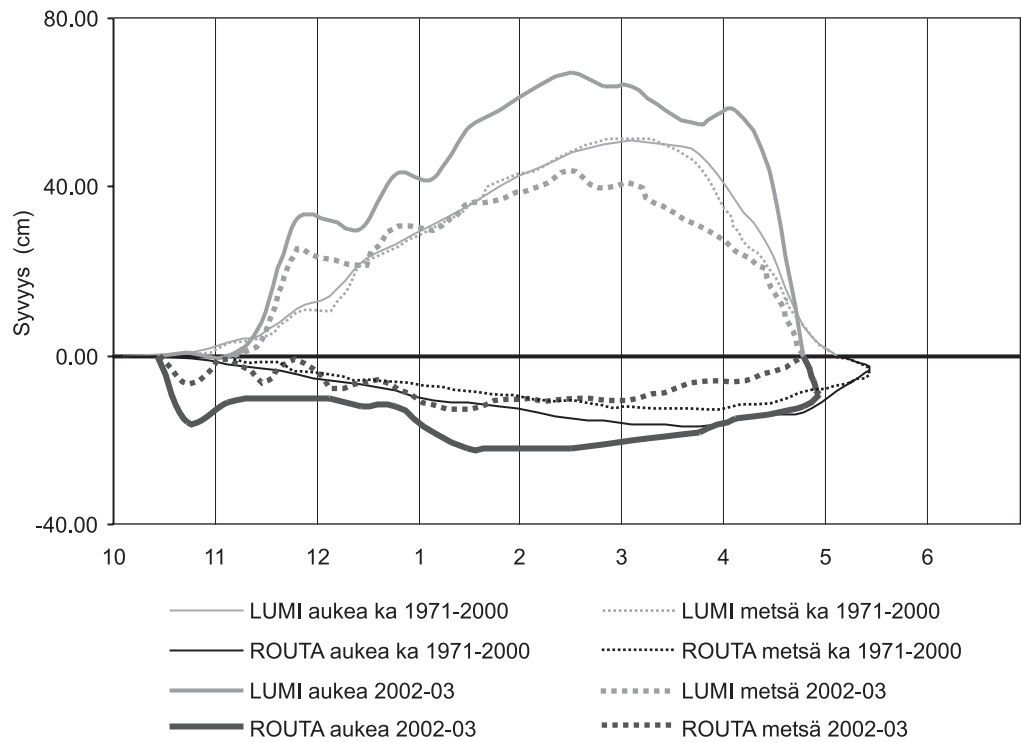
Kuva 10. Tutkimusjaksolla 1.10.2002 - 30.9.2003 mitatut kuukausisademäärät Tiehallinnon sääasemalla Kauriansalmella (P Kauria) ja pitkän jakson (1971-2000) kuukausisademäärien keskiarvot Ilmatieteen laitoksen Mikkelin sääasemalla (P 2602).

Figure 10. The monthly precipitation from 1st October 2002 to 30th September 2003 in the Kauriansalmi observation station operated by the Road Administration and the mean monthly precipitation from 1971 to 2000 in the Mikkeli observation station operated by the Finnish Meteorological Institute.



Kuva 11. Tutkimusjaksolla 1.10.2002 - 30.9.2003 mitatut ilman lämpötilan kuukausikeskiarvot Tiehallinnon sääasemalla Kauriansalmella (T Kauria) ja pitkän jakson (1971-2000) ilman lämpötilan kuukausikeskiarvot Ilmatieteen laitoksen Mikkelin sääasemalla (T 2602).

Figure 11. The mean monthly air temperature from 1st October 2002 to 30th September 2003 in the Kauriansalmi observation station operated by the Road Administration and the mean monthly air temperature from 1971 to 2000 in the Mikkeli observation station operated by the Finnish Meteorological Institute.

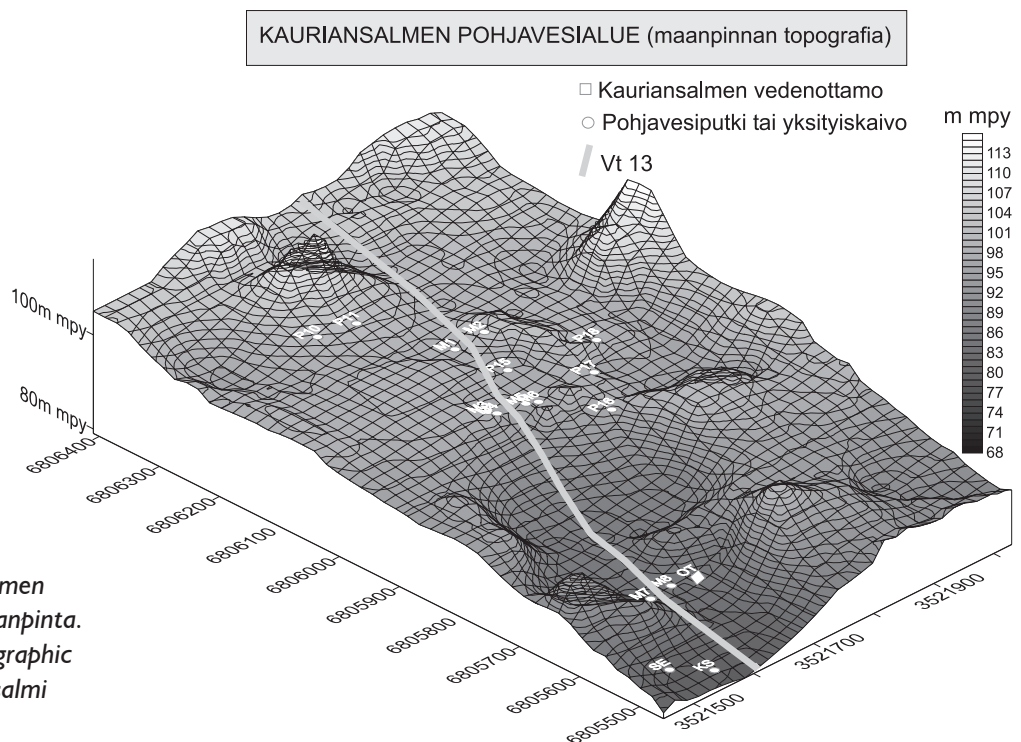


Kuva 12. Roudan ja lumen syvyys Mikkelin routa-asemalla jaksolla 2002-2003 sekä pitkän jakson (1971-2000) keskiarvot aukealla ja metsässä.

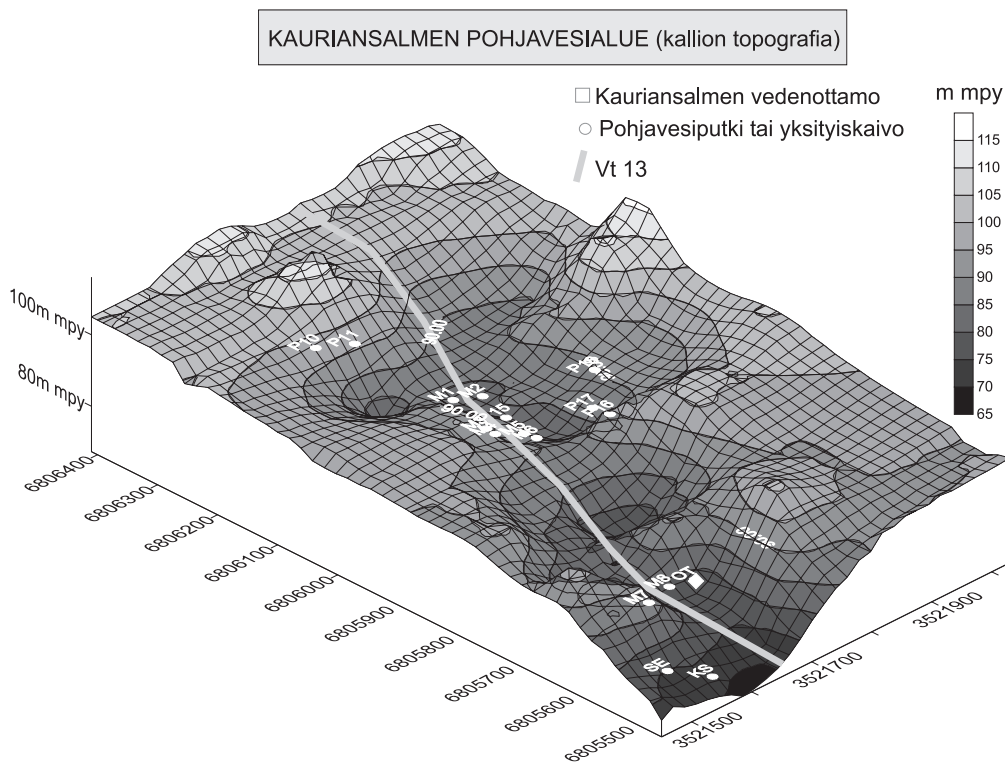
Figure 12. The depth of soil frost and the thickness of snow cover in the Mikkeli frost observation station in winter period 2002-2003 and the mean figures in an open field and in a forested area from 1971 to 2000.

3.3 Tutkimusalueen topografia

Kauriansalmen pohjavesialueen maanpinta (kuva 13) ja kallion pinta (kuva 14) laskee pohjois-etelä suunnassa puolen kilometrin matkalla noin 20 metriä.



Kuva 13. Kauriansalmen pohjavesialueen maanpinta.
Figure 13. The topographic map of the Kauriansalmi field site.



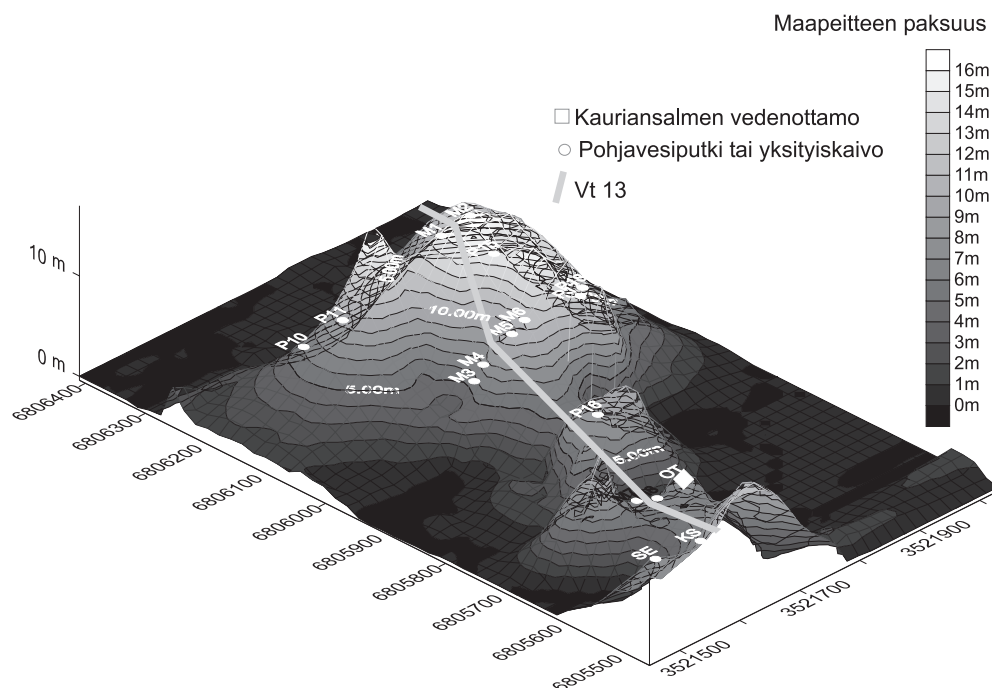
Kuva 14. Kauriansalmen pohjavesialueen kallion pinta.
Figure 14. The bedrock surface in the Kauriansalmi aquifer.

3.4 Tutkimusalueen maaperä

Kauriansalmen pohjavesialueen kallioperän topografian runsas vaihtelu on estänyt laaja-alaisten yhtenäisten paksujen kerrostumien syntymisen. Maapeite on paksuimmillaan noin 15 metriä M2-putken kohdalla (kuva 15).

Tutkimusalueen maaperä on suurimmaksi osaksi hyvin vettä läpäisevää hiekkaa ja soraa (kuva 16). Virtausolosuhteiden muuttuessa alueelle on kerrostunut ajoittain myös hienompaa ainesta (liite 2 ja 3). Soranottoaikoilla maaperää peittävä orgaaninen pintakerros puuttuu kokonaan. Maaperän humuspitoisuus on alhainen (0,5 %).

KAURIANSALMEN POHJAVESIALUE (maapeitteen paksuus)



Kuva 15. Kauriansalmen pohjavesialueen maapeitteiden paksuudet.

Figure 15. The thicknesses of unconsolidated subsurface deposits in the Kauriansalmi aquifer.



Pasi Hellstrén

Kuva 16. Kauriansalmen maaperä on pääsääntöisesti hyvin vettä läpäisevää hiekkaa ja soraa.

Figure 16. The subsurface deposits in the Kauriansalmi aquifer consist predominantly of sand and gravel with a high hydraulic conductivity.

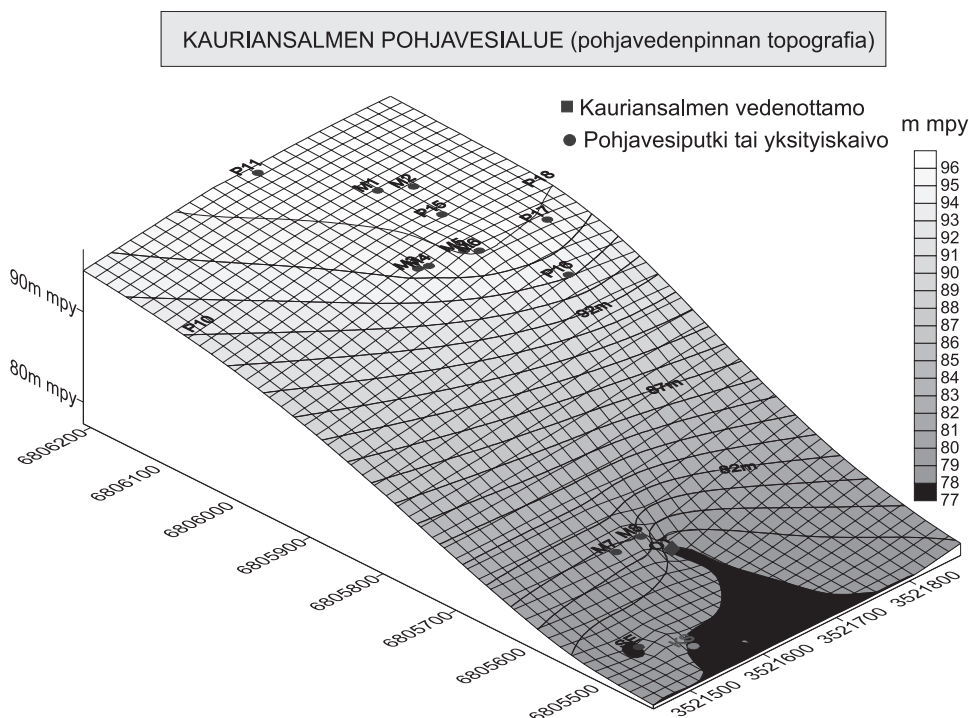
3.5 Tutkimusalueen pohjavesi

Kauriansalmen pohjavesialueella jyrkän topografian, ”kallioaltaiden” ja soranoton seurauksena pohjaveden pinta on vain muutaman metrin syvyydellä maanpinnasta. Pohjaveden päävirtaussuunta on pohjoisesta etelään (kuva 17). Ottamon ja yksityiskaivojen kohdalla pohjaveden pinta on Kuolimojärven vedenpinnan tasolla.

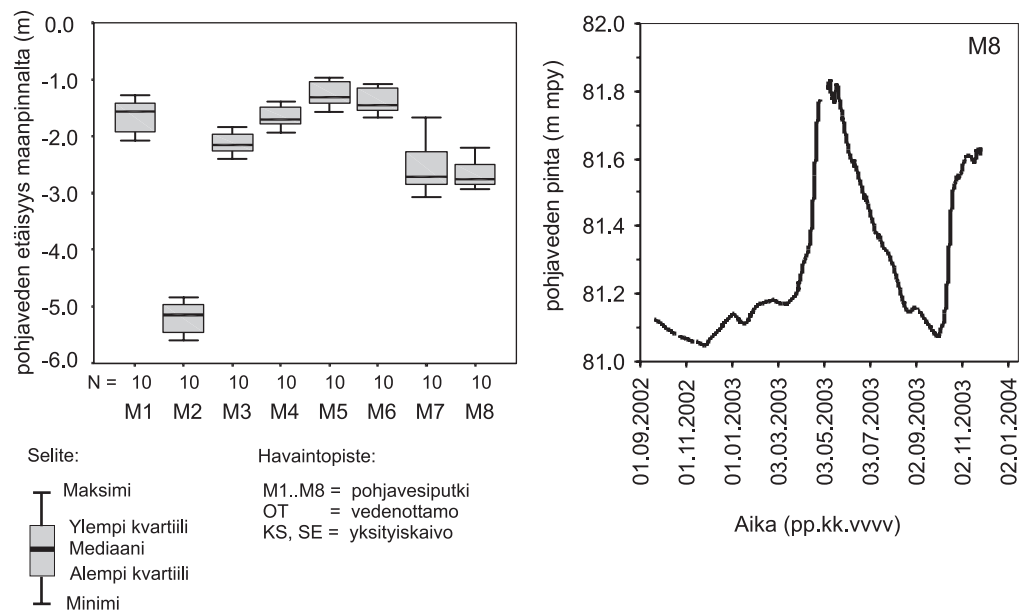
Pohjavesi oli vuoden 2002 kuivan kesän ja sateettoman syksyn jälkeen normaalia alempana Kauriasalmella. Kauriansalmen pohjavesialueella muodostui talven aikana vain vähän uutta pohjavettä. Vettä muodostui runsaasti vasta maalis-huhtikuussa yli 60 cm paksun lumipeitteen sulaessa (kuva 18). Pohjaveden pinta nousi M8 putkessa kuudessa viikossa noin 65 cm. Kesän 2003 aikana pohjaveden pinta laski alueella nopeasti ja oli syyskuussa paikoin jo lähes yhtä alhaalla kuin edellisenä syksynä. Loppusyksystä runsaat sateet kuitenkin muodostivat runsaasti uutta pohjavettä ja pohjaveden pinta nousi paikoin lähes puoli metriä. Kauriansalmen pohjavesialueella pohjaveden pinnan korkeus vaihteli tutkimuksen aikana 1-1,5 metriä.

Pohjaveden lämpötila vaihteli huomattavasti vuodenaikojen mukaan pohjavesimuodostuman mataluuden ja ohuen vedellä kyllästymättömän vyöhykkeen vuoksi. Pohjavesi oli lämpimintä syyskuussa ja kylmintä lumen sulamisen aikaan huhti-toukokuussa (kuva 19). Lämpötilan vuodenaikaisvaihtelu oli suurinta soranottoalueelle sijoitetuissa pohjavesiputkissa. Soranottoalueen pohjavesiputkissa pohjaveden pinta oli lähellä maanpintaa ja pohjavesikerroksen paksuus oli alle kymmenen metriä, joten pohjaveden pintaosien lämpötila kohosi syyskuussa jopa yli + 11°C:een ja laski toukokuussa alle +3 °C:een. Pohjaveden syvemmissä kerroksissa lämpötilan vaihtelu oli pintaosia selvästi vähäisempää. Soranottoalueen ulkopuolella sijaitsevassa M2-putkessa pohjaveden lämpötila oli keskimäärin +5,7 °C ja vuodenaikaisvaihtelu oli vähäistä ($\pm 0,5$ °C), koska pohjaveden pinta oli useiden metrien syvyydellä eikä suojaavaa pintakasvillisuutta ja maannosta oltu poistettu. Pohjaveden lämpötila oli syksyllä 2003 hieman edellisvuotta kylmempää.

Pääanionien ja -kationien suhteiden perusteella Kauriansalmen pohjavesi on tyypiltään Na-Ca-Cl-HCO₃ vettä (taulukko 3). Pohjaveden laatu vaihtelee alueen eri osissa ja laatuun vaikuttaa voimakkaasti talven tiesuolaus sekä kesän pölynsidonta.

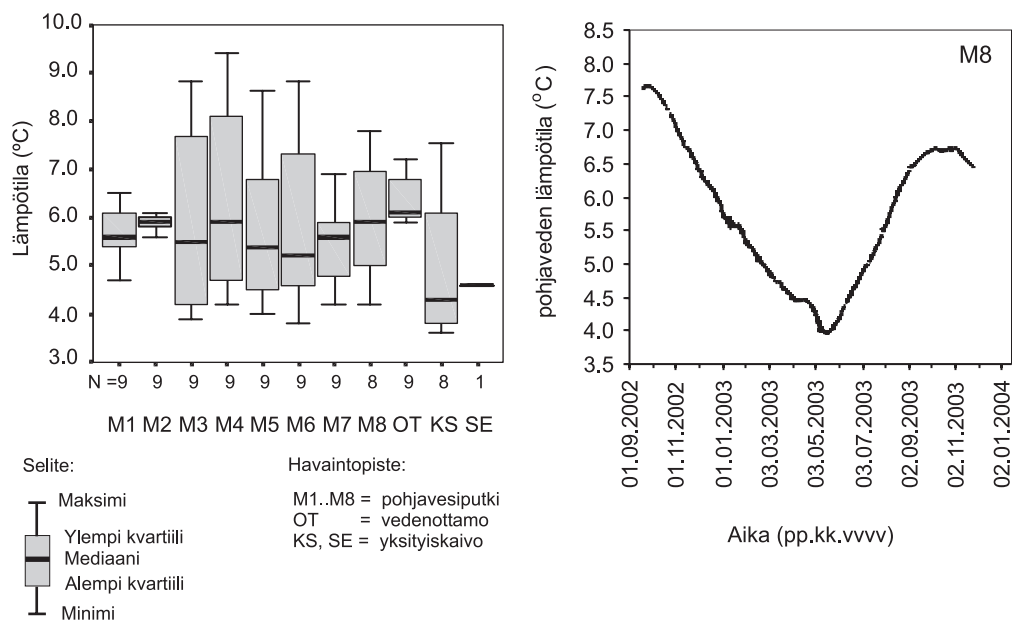


Kuva 17. Pohjaveden pinta Kauriasalmella 30.09.2003.
Figure 17. The surface model of hydraulic head in the Kauriansalmi aquifer on 30th September 2003.



Kuva 18. Kauriansalmen pohjaveden pinnankorkeuden vaihtelu pohjavesiputkissa M1-M8 seurantajakson 04.09.2002-21.10.2003 aikana. Pohjavesiputken M8 pinnankorkeutta seurattiin myös pinnankorkeusanturin avulla.

Figure 18. The variations in hydraulic head in the Kauriansalmi monitoring wells M1-M8 from 4th September 2002 to 21st October 2003. Hydraulic head in the monitoring well M8 was gauged on-line using a pressure probe and a data logger system.



Kuva 19. Pohjaveden lämpötilan vaihtelu Kauriansalmen pohjavesialueella seurantajakson 04.09.2002-21.10.2003 aikana. Pohjavesiputkessa M8 lämpötilan vaihtelua seurattiin myös lämpötila-anturin avulla.

Figure 19. The variations in groundwater temperature in the Kauriansalmi aquifer. Temperature in the monitoring well M8 was gauged on-line using a temperature probe and a data logger system.

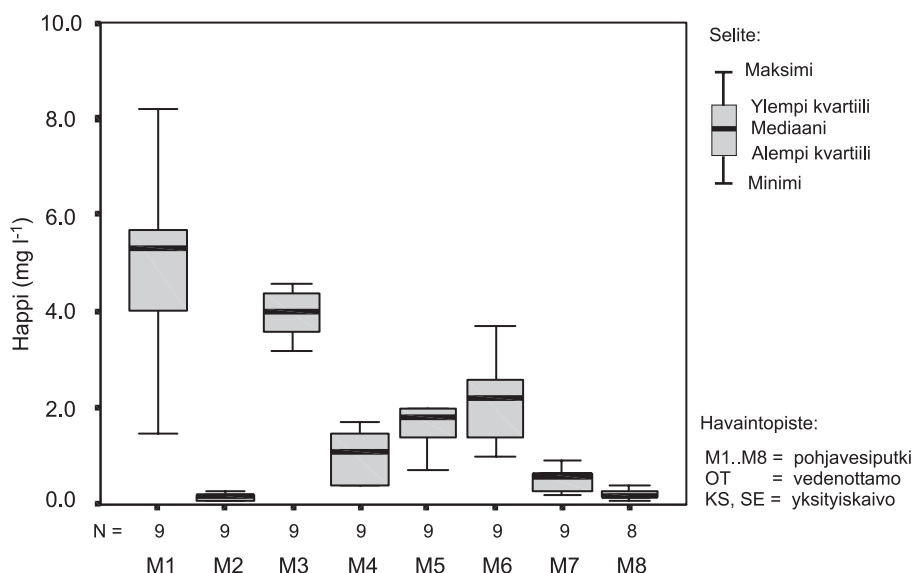
Taulukko 3. Kauriansalmen pohjavesialueelta 2002-2003 kerätystä pohjavesinäytteistä (putket M1-M8, ottamo OT sekä yksityiskaivot KS ja SE) lasketut keskipitoisuudet, mediaani-, minimi- ja maksimiarvot, keskihajonnat sekä tehtyjen analyysien lukumäärä (N).

Table 3. Summary of the results of the groundwater quality monitoring in the Kauriansalmi aquifer in 2002-2003. M1-M8 = monitoring wells; OT = Kauriansalmi water works; KS and SE = private wells.

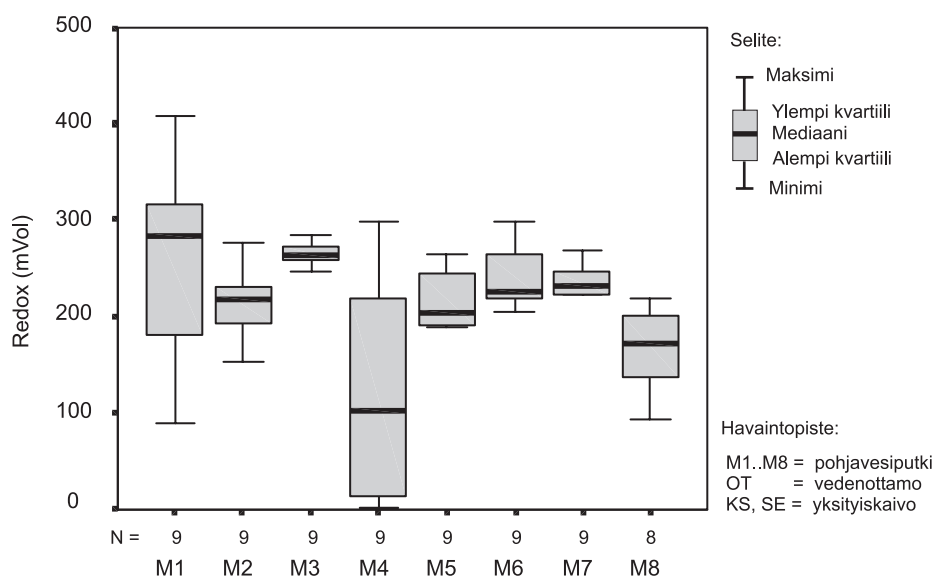
Analyysi	Yksikkö	Keskiarvo	Mediaani	Minimi	Maksimi	Keskihajonta	N
Sähkönj.	mS m ⁻¹	20.28	14.9	2.6	90.7	17.38	94
Cl	mg l ⁻¹	53.3	38	1.1	260	56.6	93
TOC	mg l ⁻¹	1.98	1.9	0.6	4.6	0.79	84
KMnO ₄	mg l ⁻¹	8.78	8.65	2	12.4	2.64	16
HGR	CFU ml ⁻¹	82795	55050	5180	231800	91487	6
AOC	μg AOC-C l ⁻¹	41.1	36.5	19	71	21.6	8
Heterot.	pmy ml	330	89	0	3000	572	84
pH		5.5	5.5	4.7	7.1	0.44	89
Redox	mVol	215	224	2	407	75	71
Happi	mg l ⁻¹	2	1.1	0.1	8.2	2.1	71
Happi	%	15.7	8.7	0.7	67	16.8	71
Alk.	mmol l ⁻¹	0.28	0.24	0.11	1	0.18	34
Asid.	mmol l ⁻¹	0.68	0.7	0.32	1.08	0.18	33
Ntot	μg l ⁻¹	148.9	145	87	260	46.7	18
N _{NO3}	μg l ⁻¹	61.8	12	0	670	128.7	32
P _{tot}	μg l ⁻¹	36.7	25	7	140	37.5	17
SO ₄	mg l ⁻¹	6.6	6.5	2.5	12	2.4	32
Al	μg l ⁻¹	130	136	9.74	453	102	39
B	μg l ⁻¹	4.66	3.26	2.3	30.1	4.57	39
Ba	μg l ⁻¹	49	32.8	3.14	290	57.8	39
Cu	μg l ⁻¹	2.56	0.61	<0.1	21.4	4.42	39
K	mg l ⁻¹	1.05	0.82	0.39	2.09	0.49	39
Mn	μg l ⁻¹	44.6	42.7	2.38	93.2	23.9	39
Mo	μg l ⁻¹	0.49	0.15	0.03	4.68	0.86	39
Ni	μg l ⁻¹	1.17	0.56	<0.05	5.97	1.29	39
Pb	μg l ⁻¹	0.75	0.12	<0.05	4.52	1.35	39
Sb	μg l ⁻¹	0.02	0.02	<0.02	0.09	0.02	39
Zn	μg l ⁻¹	12.85	6.31	1.97	69.9	14.86	39
Ca	mg l ⁻¹	8	6.52	2.43	31.4	6.23	39
Fe	mg l ⁻¹	1.25	1.03	<0.03	3.25	1.07	39
Mg	mg l ⁻¹	1.34	1.3	0.53	2.49	0.5	39
Na	mg l ⁻¹	26.5	14.1	2.1	158	33.1	39

Kauriansalmen pohjavesi on vähähappista (taulukko 3), koska alueen topografian seurauksena ympäröiviltä suoalueilta, pelloilta ja vettä heikosti läpäisevien silttikerrosten alta kulkeutuu pohjavesialueelle hapetonta vettä. Pohjaveden hapettomuuden ja vähähappisuuden seurauksena vedessä on runsaasti liuenneena mm. rautaa (Fe) ja mangaania (Mn). Vähäinen hapen määrä näkyy Kauriansalmen pohjavedessä myös alhaisina nitraattipitoisuuksina (N_{NO3}) sekä redox-potentiaaleina. Happipitoisuuksissa ei tapahtunut talvikauden 2002-2003 aikana suuria muutoksia (kuva 20). Vasta keväällä lumen sulaminen ja hapekkaan sulamisveden imeytyminen maaperään nosti pohjaveden happipitoisuutta ja redox-potentiaalia. Vastaavanlainen muutos havaittiin myös vuoden 2003 syyssateiden jälkeen. Ainoastaan suon lähellä sijaitsevassa putkessa M1 lumen sulaminen ja syysateet näkyivät happipitoisuuden ja redox-potentiaalin laskuna: pohjaveden runsas muodostuminen sai hapettoman pohjaveden virtaamaan kohti M1-putkea. Alhaisin redox-potentiaali (2 mVol) mitattiin putkesta M4, joka sijaitsee putken M1 eteläpuolella (kuva 21).

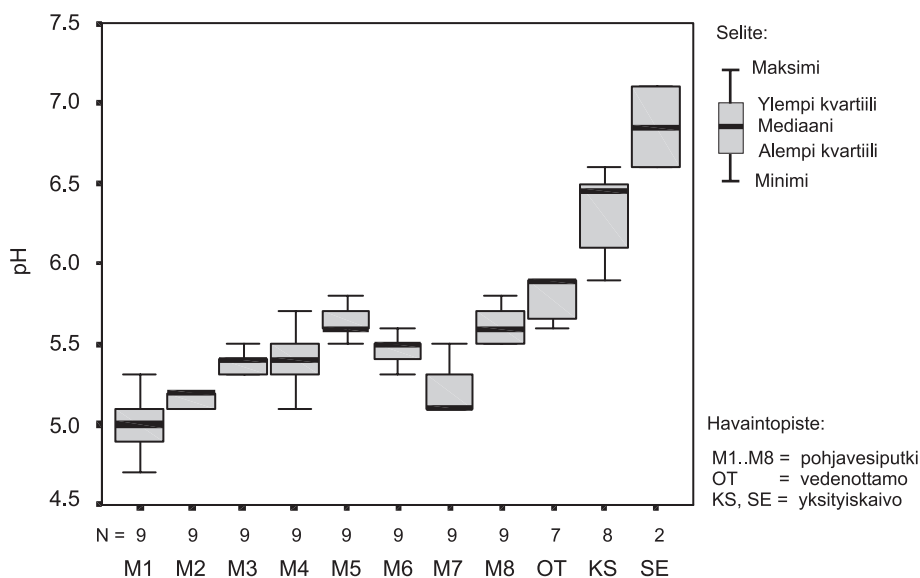
Kuva 20. Kauriansalmen pohjaveden happipitoisuuden vaihtelu seurantajakson 04.09.2002-21.10.2003 aikana.
Figure 20. The variations in dissolved oxygen concentration in the Kauriansalmi aquifer from 4th September 2002 to 21st October 2003.



Kuva 21. Kauriansalmen pohjaveden redox-potentialin vaihtelu seurantajakson 04.09.2002-21.10.2003 aikana.
Figure 21. The variations in redox potential in the Kauriansalmi aquifer from 4th September 2002 to 21st October 2003.

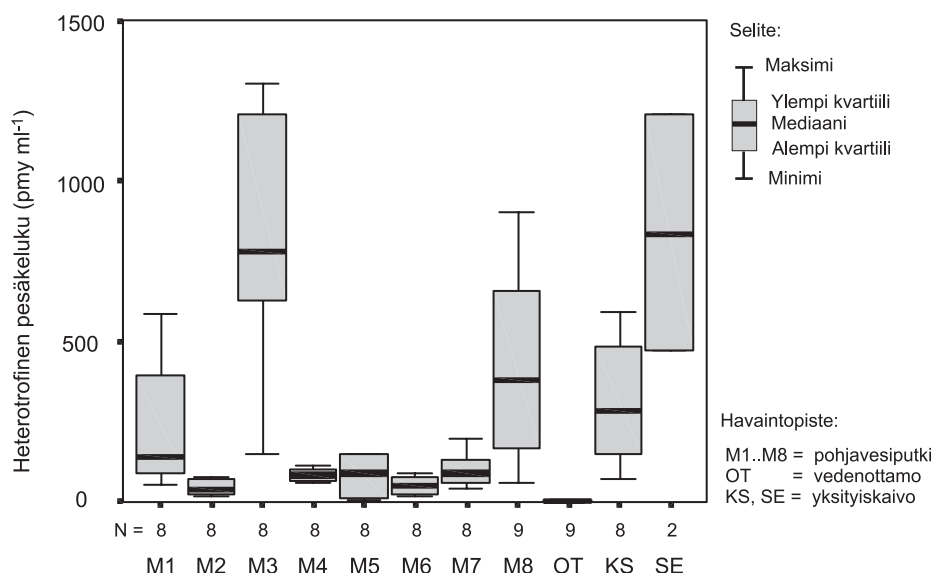


Kauriansalmen pohjavesi on luontaisesti hapanta (taulukko 3). Pohjaveden pH oli kenttämittausten perusteella 4,7–7,1. Happaminta pohjavesi oli suon lähellä olevassa M1-putkessa (kuva 22). Alueen jyrkkä topografia ja siitä aiheutuva tutkimusalueen lyhyt hydrologinen kierto pitää pohjaveden happamana. Yksityiskaivojen (betonirengaskaivoja) pH oli hieman pohjavesiputkista mitattuja pH-arvoja korkeampia. Happamuuden, alhaisen alkaliteetin ja korkean kloridipitoisuuden takia pohjavesi on korrodoivaa (Gustafsson 2000) (taulukko 3). Veden korkea kloridipitoisuus lisää putkiston korroosiota ja näkyi Kauriansalmen ottamolla kuparin (Cu), lyijyn (Pb), nikkelin (Ni) ja sinkin (Zn) luonnontilaisia pitoisuuksia selvästi korkeampina pitoisuuksina. Kauriansalmen pohjavedessä esiintyneitä korkeita rauta-, mangaani- ja alumiinipitoisuuksia (Al) lukuun ottamatta pohjaveden metallipitoisuudet olivat alle sosiaali- ja terveysministeriön talousvedelle asettamien raja-arvojen (STM 461/2000).



Kuva 22. Kauriansalmen pohjaveden pH:n vaihtelu seurantajakson 04.09.2002-21.10.2003 aikana.

Figure 22. The variations in pH in the Kauriansalmi aquifer from 4th September 2002 to 21st October 2003.

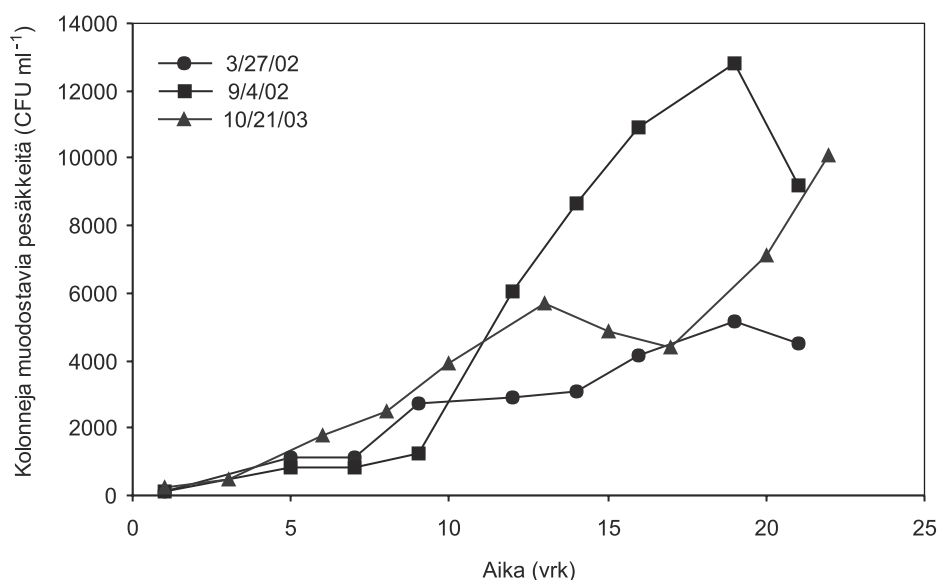


Kuva 23. Kauriansalmen pohjaveden heterotrofinen pesäkeluku (+22°C) seurantajakson 04.09.2002-21.10.2003 aikana.

Figure 23. The variations in heterotrophic colony count (+22°C) in the Kauriansalmi aquifer from 4th September 2002 to 21st October 2003.

Kauriansalmen pohjavesi on mikrobiologiselta laadultaan hyvää. Vedenottamon veden heterotrofinen pesäkeluku (+22 °C) oli seurantajakson 4.9.2002-21.10.2003 aikana 0-17 pmy (pesäkettä muodostava yksilö) ml⁻¹. Pohjavesiputkien vesinäytteissä pesäkeluvut olivat selvästi korkeampia 6-3000 pmy ml⁻¹ kuin ottamalla (kuva 23). Pohjavesiputkista pumpaamalla otetut vesinäytteet sisälsivät usein maaperästä peräisin olevaa hienoaainesta, mikä saattoi vaikuttaa pesäkelukumäärityksiin. Seurantajakson aikana ainoastaan M8-putkesta ja ottamolta otetuissa näytteissä pesäkeluku kasvoi tasaisesti kesän 2003 jälkeen. Ottamon raakaveden heterotrofisten mikrobien kasvukyvyssä (HGR) ja AOC-pitoisuudessa ei havaittu kasvua tutkimuksen aikana (kuva 24).

Kuva 24. Ottamon raakavedestä määritetty heterotrofisten mikrobien kasvukyky (HGR) keväällä ja syksyllä 2002 sekä syksyllä 2003.
Figure 24. Heterotrophic growth rate in groundwater at the pumping station of the Kauriansalmi water works in March 2002, September 2002 and October 2003.

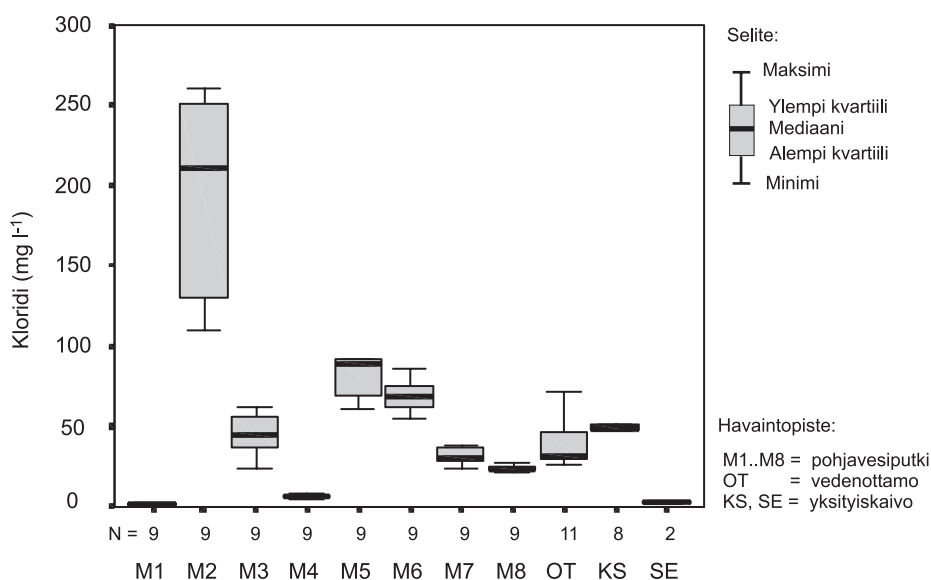


3.6 Aikaisemman tiesuolauksen vaikutukset pohjaveden laatuun

Kauriansalmen pohjavesialueella pohjaveden kloridipitoisuuteen (kuva 25) ja sähkönjohtavuuteen (kuva 26) on vaikuttanut eniten alueen halki kulkevan vt 13:n tiesuolaus NaCl:llä. Suurin kloridipitoisuus 260 mg l⁻¹ mitattiin (putkesta M2) syksyllä 2002. Samaan aikaan vastaavalla etäisyydellä tien toisella puolella (M1-putken) kloridipitoisuus oli 1,4 mg l⁻¹. Natriumpitoisuudet vastaavissa näytteissä olivat 158 mg l⁻¹ (M2) ja 2,3 mg l⁻¹ (M1). Tiesuola leviävää pohjaveden päävirtaussuunnan mukana pohjois-eteläsuunnassa ja lisäksi länsi-itäsuunnassa erityisesti alueen pohjoisosassa. Pohjaveden pinnan noustua maaliskuussa, tieltä kulkeutui suolapitoista pohjavettä M8-putken kautta ottamon suuntaan toukokuussa kahden viikon ajan (kuva 26). Ottamolta otetuissa toukokuun näytteissä kloridipitoisuus oli 45 mg l⁻¹, kun se huhtikuussa oli ollut 26 mg l⁻¹. M8-putkesta otetussa näytteessä ei havaittu samanlaista kloridipitoisuuden tilapäistä kasvua kuin ottamalla näytteenottotavan ja suolapulssin lyhyen keston takia. Kalliokynnys on estänyt suolapitoisen pohjaveden kulkeutumisen ottamon pohjoispuolelta.

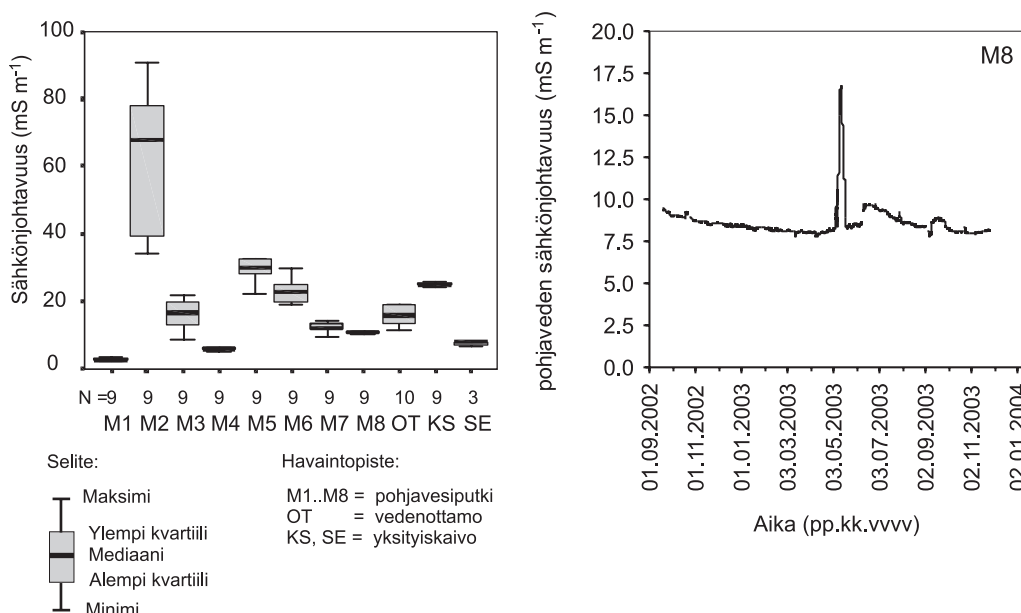
Kauriansalmen pohjavesialueella tien vieressä sijaitsevien pohjavesiputkien kloridipitoisuus laski selvästi vuoden 2003 aikana, koska talvella 2002-2003 tutkimusalueella ei käytetty lainkaan natriumkloridia. M2-putken maksimikloridipitoisuus laski lähes 40 prosenttia ja Kauriansalmen vedenottamollakin laskua tapahtui yli 30 prosenttia (kuva 27). Sen sijaan M5-putkessa, joka sijaitsee M2-putken eteläpuolella pohjaveden päävirtaussuunnan alapuolella, maksimikloridipitoisuus kasvoi 46 prosenttia. Alueen pohjoisosassa jyrkkä topografia ja veden lyhyt viipymä muodostumassa aiheuttivat nopean kloridipitoisuuden vähenemisen pohjavedessä erityisesti vt 13:n läheisyydessä.

Verrattaessa vuoden 2002 ja 2003 vastusluotaustuloksia ei ominaisvastustuloksista kyetty erottamaan selkeästi muutoksia vielä yhden talven jälkeen siitä kun suolan käyttö oli lopetettu. Kesällä 2002 alkanut ja kesään 2003 jatkunut kuivuus vaikutti merkittävästi pohjaveden pinnan tasoon ja vedenpinnan taso oli alueella kesällä 2003 myös silmämääräisesti selkeästi alempana kuin vuonna 2002. Ominaisvastusjakaumista voidaan erottaa kuitenkin selkeät yhtenevät piirteet, kuten hiekkamuodostuma sekä kallioperä. Selkeimmät eroavaisuudet havaittiin pohjavesiputkien M5 ja M6 kautta kulkeneen vastusluotauslinjan alhaisimman ominaisvastuksen omaavassa vyöhykkeessä (kuva 28). Osa eroista johtuu siitä, että vuosina



Kuva 25. Pohjaveden kloridipitoisuuden vaihtelu seurantakauden 04.09.2002-21.10.2003 aikana.

Figure 25. The variations in chloride concentration in the Kauriansalmi aquifer from 4th September 2002 to 21st October 2003.



Kuva 26. Pohjaveden sähkönjohtavuuden vaihtelu seurantakauden 04.09.2002-21.10.2003 aikana. Pohjavesiputken M8 sähkönjohtavuutta seurattiin myös johtokykyanturin avulla.

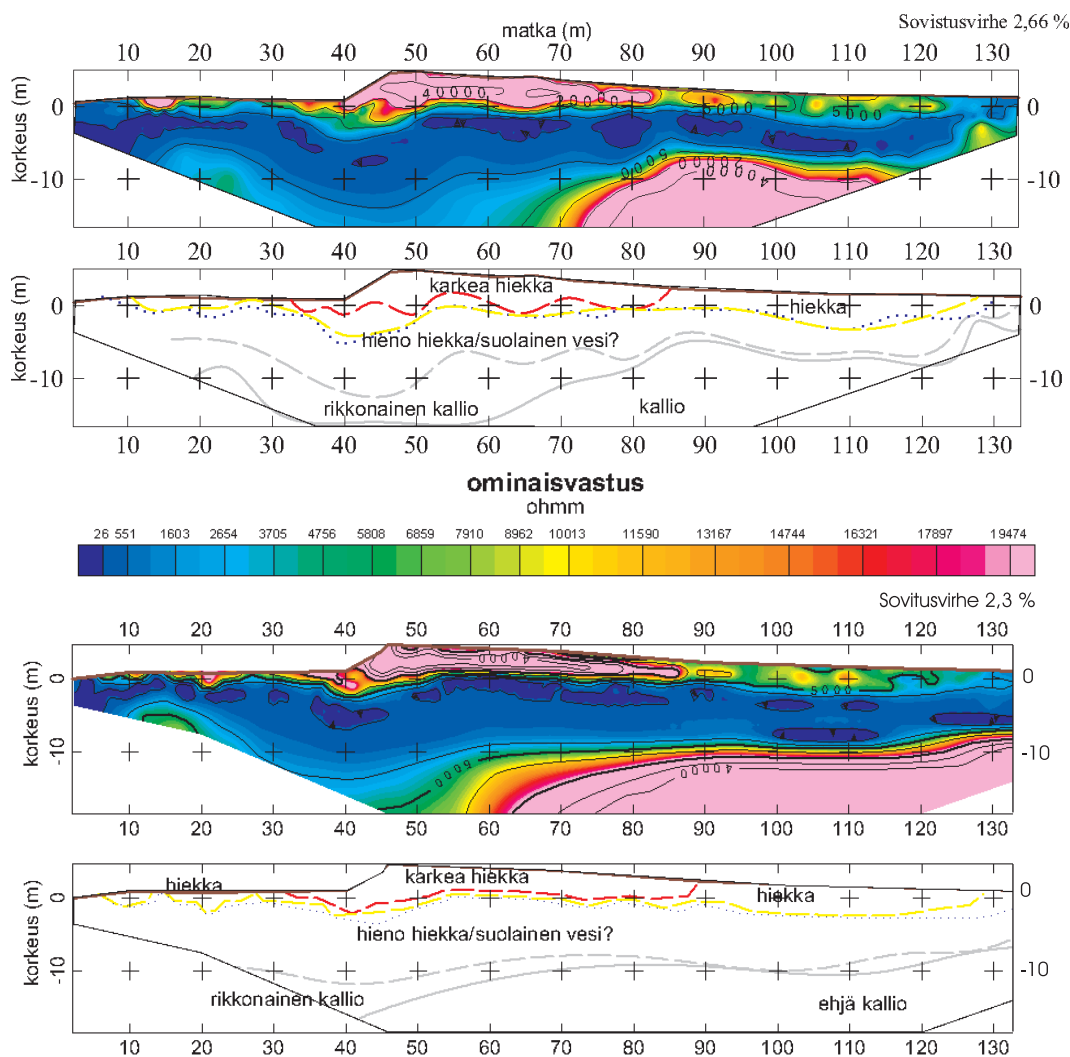
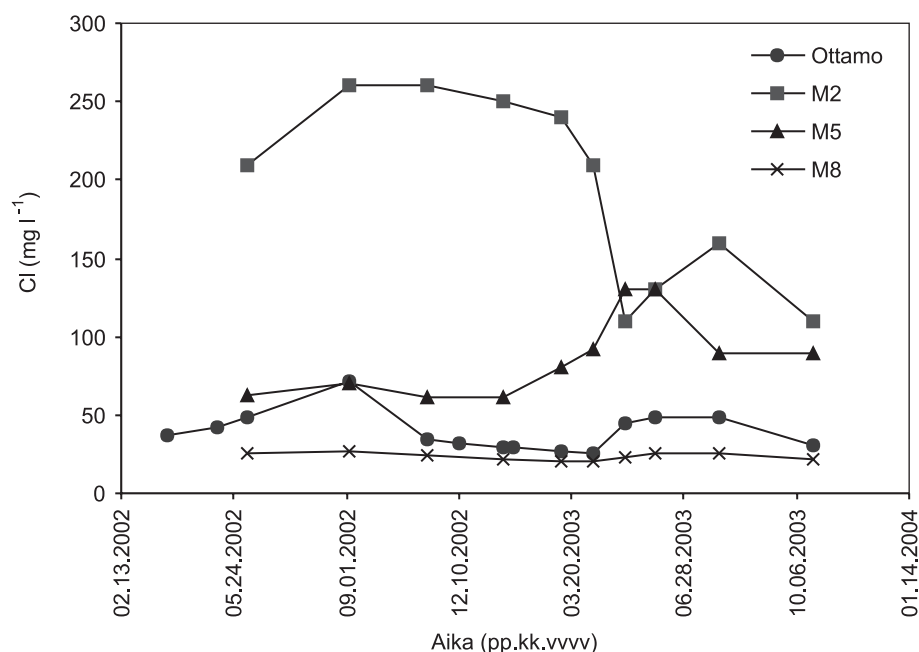
Figure 26. The variations in specific conductance in the Kauriansalmi aquifer from 4th September 2002 to 21st October 2003. Specific conductance in the monitoring well M8 was gauged on-line using a EC probe and a data logger system.

2002 ja 2003 mitatut linjat eivät kulje täysin samasta kohdasta. Karkean hiekan alle saadut alhaisen ominaisvastuksen vyöhykkeet voivat olla mittauksesta ja tulkinasta aiheutuvia virheitä, koska sähköisesti huonon johteen alla olevasta kohteesta on vaikea saada luotettavaa tietoa. Vuoden 2003 linjan alkupäässä ei tulkintatuloksissa nähdä yhtä jatkuvaa johtavaa vyöhykettä, mikä saattaa viitata vähentyneeseen suolapitoisuuteen maaperässä.

Pohjavedessä havaittiin myös kalsiumkloridia, jota käytetään pölynsidontaan pohjavesialueen soratiellä. Vuosittain kyseisellä soratiellä käytetään pölynsidontaan kalsiumkloridia 1200 kg km⁻¹, josta keväällä levitetään 900 kg rakeisena (kuva 29) ja loput kesän aikana liuoksena. Suurin kemiallisten tarkastelujen perusteella kalsiumkloridista aiheutunut kloridipitoisuus 62 mg l⁻¹ havaittiin huhtikuussa vuonna 2003 pohjavesiputkesta M3. Saman havaintopaikan kalsiumpitoisuus oli 31,4 mg l⁻¹.

Kuva 27. Kauriansalmen pohjavesialueen kloridipitoisuuksien vaihtelu pohjavesi-putkissa (M2, M5 ja M8) sekä vedenottamolla vuosina 2002 - 2003.

Figure 27. The variations in chloride concentration in the monitoring wells M2, M5 and M8 and at the Kauriansalmi water works in 2002-2003.



Kuva 28. Vastusluotaustulosten tulkinta vuosina 2002 (ylempi) ja 2003 mitatuille linjoille.
Figure 28. Profiles of the electrical resistivity survey lines.



Pasi Hellstén

*Kuva 29. Tutkimusalueella kulkeva soratie keväällä kalsiumkloridin levityksen jälkeen.
Figure 29. The surface of the non-asphalted road traversing the Kauriansalmi field site after calcium chloride had been applied in May 2003.*

3.7 Kaliumformiaatin vaikutukset pohjaveden laatuun

Talvikaudella 2002-2003 liukkaudentorjunnassa käytetyllä kaliumformiaatilla ei seuraavaan talvikauteen mennessä havaittu olevan haitallista vaikutusta pohjaveden laatuun. Formiaatti hajosi todennäköisesti jo maaperään imeytyessään tien läheisyydessä ennen pohjaveteen kulkeutumista. Formiaattia ei havaittu mistään tien lähellä olevasta pohjavesiputkesta. Vesianalyysien perusteella kaliumformiaatin sisältämä kalium todennäköisesti pidättyi maaperään. Pohjaveden kaliumpitoisuus oli tutkimusvuoden aikana 0,1-2,1 mg l⁻¹ (mediaani 0,8 mg l⁻¹) ja formiaattipitoisuus alle määrittäysrajan (0,5 mg l⁻¹). Pohjaveden orgaanisen hiilen kokonaispitoisuus oli 0,6-4,6 mg l⁻¹ (mediaani 1,9 mg l⁻¹) eikä pitoisuuksissa tapahtunut normaalista vuodenaikaisvaihtelusta poikkeavia muutoksia. Heterotrofisessa pesäkeluvussa ei havaittu kasvua lukuun ottamatta kesällä ja syksyllä M8-putkesta ja ottamolta otettuja vesinäytteitä. Pesäkemäärän kasvuun oli todennäköisesti syynä lämmin kesä ja sateinen syksy. Pesäkeluvun kasvusta huolimatta ottamolta lokakuussa 2003 otetussa näytteessä ei havaittu mikrobien kasvukyvyssä (HGR) muutosta verrattaessa syksyn 2002 tuloksiin. Vedenottamon raakaveden AOC-pitoisuudet olivat myös alhaisia (alle 71 µg AOC l⁻¹) koko tutkimuksen ajan. Kaliumformiaatin hajoaminen ei myöskään muuttanut Kauriansalmen pohjaveden happipitoisuutta tai redox-potentiaalia. Kauriansalmen pohjavesi on luontaisesti vähähappista (mediaani 1,1 mg l⁻¹), joka ilmeni mm. korkeina rautapitoisuuksina (mediaani 1,03 mg l⁻¹). Tutkimusvuoden aikana ainoastaan putken M2 näytteissä liuenneen raudan määrä kasvoi.

3.8 Kasvillisuustutkimukset

Vuoden 2002 linjainventoinnissa kasvillisuuden havaittiin olevan tavanomaista pienar- ja kangasmetsälajistoa. Teiden pientareille tyypillisiä lajeja kasvoi etenkin kolmella ensimmäisellä ruudulla ja kauempana tiestä lajisto oli varpuvaltaista metsälajistoa. Pohjakerroksen valtalajeja olivat seinäsammal (*Pleurozium screberi*) ja kangaskynsisammal (*Dicranum polysetum*). Ruuduilla havaittu lajien yhteismäärä oli suhteellisen vähäinen (5-11) kokonaislajimäärän ollessa 24. Ruutukohtainen lajimäärä pieneni siirryttäessä etäämmälle tiestä. Yleisimpinä (suurin ruutufrekvenssi) esiintyivät metsälauha (*Deschampsia flexuosa*), mustikka (*Vaccinium myrtillus*) ja puolukka (*Vaccinium vitis-idaea*). Yli puolet havaituista lajeista esiintyi ainoastaan yhdellä tai kahdella koeruudulla (13 lajia). Ruutukohtaisesti peittävimpinä kasvustoina esiintyivät puolukka, hietakastikka (*Calamagrostis epigejos*) ja siankärsämö (*Achillea millefolium*).

Vuoden 2003 inventoinnissa havaittiin yhteensä 20 lajia, mikä on neljä vähemmän kuin edellisvuonna. Puuttuvia lajeja olivat nurmilauha (*Deschampsia cespitosa*), nurmiröllä (*Agrostis capillaris*), valkoapila (*Trifolium repens*) ja alsikeapila (*T. pratense*). Kaikki em. lajit esiintyivät 2002 ainoastaan yhdellä ruudulla alle 1% peittävyysin. Uusia lajeja ei koeruuduilla havaittu. Vuoden 2003 tarkastelussa peittävimpiä lajeja olivat sananjalka (*Pteridium aquilinum*), mustikka ja lillukka (*Rubus saxatilis*). Lajikohtaisessa tarkastelussa peittävyys havaittiin vähentyneen eniten tien pientareella kasvavilla heinäkasveilla hietakastikalla ja metsälauhalla. Pienaralajeista vastaavasti lillukan ja sananjalan peittävyys oli edelliskertaa suurempi. Metsälajeista mustikan peittävyys oli hieman kasvanut ja puolukan vastaavasti pienentynyt. Myös oravanmarjan (*Maianthemum bifolium*) peittävyys oli edelliskertaa suurempi (liite 4, taulukot a ja b).

Piennaralueella kasvavien heinäkasvien peittävyys vähentyminen selittyi todennäköisesti talven aikana ajoradalta lentäneellä soralla. Ruuduilla 1 ja 2 pohjakerrosta peitti paikoin lähes yhtenäinen sorakerros, mikä on haitannut heinäkasvien kasvua. Sorakerros on ilmeisesti myös aiheuttanut em. heinien (nurmilauha,

nurmiorölli) ja apiloiden (valko- ja alsikeapila) puuttumisen. Elomuodoltaan tukevampaa ja rönsyilevää lillukkaa sorakerros ei haitannut päätellen peittävyyskasvusta kahdella ensimmäisellä koeruudulla. Osatekijänä voi olla myös vuoden 2002 tarkastelun myöhäinen vuodenaika, mikä näkyi etenkin sananjalan peittävyyskasvussa. Vuoden 2002 inventoinnissa valtaosa sanajaloista oli lähes kuolleita, kun taas 2003 inventoinnissa kasvilla oli meneillään paras kasvukausi.

Linjan kangasmetsäosalla (ruudut 4-9) havaitut peittävyyserot johtunevat niin ikään eroista tarkastelun ajankohdassa; mustikka ja oravanmarja olivat molemmat syksyllä 2002 jo varsin kuihtuneita ja vastaavasti vuonna 2003 parhaassa kasvussa. Puolukan vähäinen peittävyys lasku johtuu mitä ilmeisemmin mustikan peittävyyslisäyksestä, mikä vaikuttaa samoilla ruuduilla kasvavien lajien peittävyysarviointiin (puolukka matalampana on peittynyt osin mustikanversojen alle).

Kasvillisuusinventoinnin yhteydessä tehtiin kaikille lajeille silmämääräinen kuntoarvio. Arvioinnissa katsottiin kasvien yleiskuntoa ja luokiteltiin se asteikolla hyvä, tyydyttävä, huono ja kuollut (liite 5, taulukko c). Vuoden 2002 myöhäisen tarkasteluajankohdan vuoksi monet lajit olivat huonokuntoisia tai lähes kuolleita, joten vertailu vuosien välillä on mahdotonta. Yhteensä 60 vertailuparissa (saman ruudun yksi laji vuosien välillä) oli 24 parin kuntoarvio parempi vuonna 2003, mikä johtuu lähes poikkeuksetta edellisvuotta aikaisemmasta inventointiajankohdasta. Lähellä tien pientareta kasvaneiden karhunputken, koiranputken ja rauduskoivun kunto arvioitiin kuitenkin edellisvuotta heikommaksi. Putkikasvien lehdet olivat lähes kauttaaltaan vaalean keltaisia. Lehtien keltaisuus voi olla merkki tiettyjen ravinteiden puutostilasta (mm. N, Mg, Mn). Karhun- ja koiranputkien lehdissä oli havaittavissa kellertymistä myös koealueena olevan tieosuuden ulkopuolella, joten ilmiö saattoi johtua kesän 2003 sääolosuhteista. Ruudun 1 yksittäinen rauduskoivun taimi oli niittokoneen katkaisema.

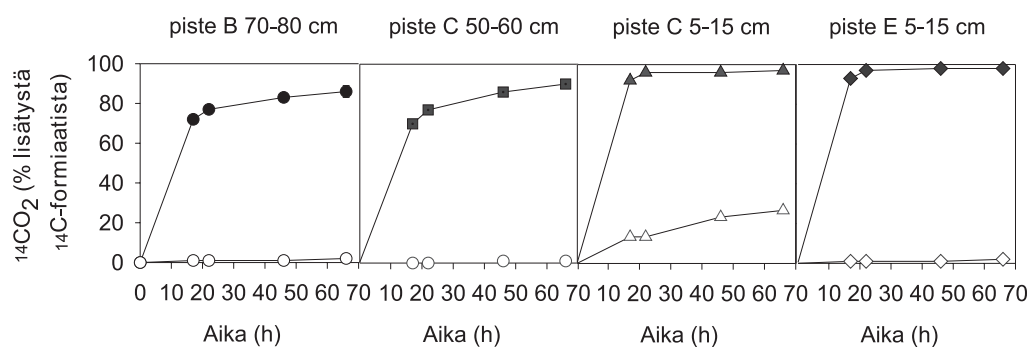
Vaihtoehtoisena liukkaudentorjunta-aineena käytettävän kaliumformiaatin vaikutuksista tienvarsikasvillisuuteen ei yhden kasvillisuuslinjan perusteella voida tehdä johtopäätöksiä, sillä koejärjestely ei mahdollista aineiston tehokasta tilastollista analysointia eikä ota huomioon muita kasvien kasvuun vaikuttavia taustamuuttujia. Ainoat mahdolliset testaukset tehtiin vertaamalla parittaisesti ruutukohtaista lajimäärää ja ruutukohtaista kokonaispeittävyttä (kaikkien lajien peittävyys summa) vuosien välillä. Tilastollisia eroja ei näissä muuttujissa ollut. Mahdollisesti havaittujen erojen selittämiseen järjestely ei olisi kuitenkaan antanut mahdollisuutta lukuisten kontrolloimattomien taustatekijöiden vuoksi. Tällaisia olivat mm. tarkastelun ajankohdan vaihtelu vuosien välillä, pientareen koeruuduille talven aikana lentänyt irtosora ja mahdollisesti kesien välinen sääolosuhteiden vaihtelu.

Mielenkiintoisin havainto oli tien pientareella sijainneiden koeruutujen heinäkasvien peittävyys lasku ja joidenkin yksittäisinä versoina esiintyneiden, elomuodoltaan hentojen lajien puutuminen vuoden 2003 inventoinnissa. Tämän oletettiin aiheutuneen tieltä lentäneen irtosoran vaikutuksesta, mutta varmuutta asiasta ei ole. Jos kaliumformiaatilla olisi haittavaikutuksia tienvarsikasvillisuudelle näkyisivät ne todennäköisesti juuri piennaralueen heinävaltaisessa lajistossa.

3.9 Formiaatin biohajoaminen ja mikrobiaktiivisuus maa- ja pohjavesinäytteissä

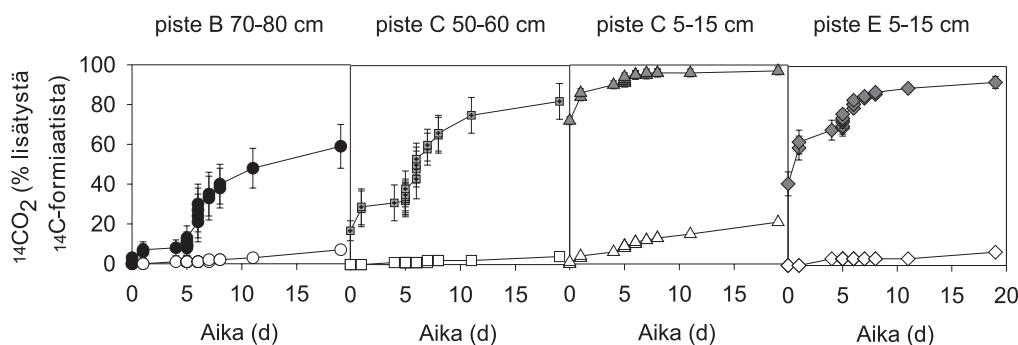
3.9.1 Formiaatin aerobinen hajoaminen

Formiaatin havaittiin hajoavan Kauriansalmen maa- ja pohjavesinäytteissä hapelissa olosuhteissa (kuva 30 ja 31). Hajoamista tapahtui kaikissa näytteissä ja kaikissa tutkituissa lämpötiloissa (+6, +1 tai -2 °C).



Kuva 30. ^{14}C -formiaatin täydellinen hajoaminen $^{14}\text{CO}_2$:ksi Kauriansalmen maanäytteissä +6 °C:ssa. Näytteet on merkitty täytetyillä symboleilla, kontrollinäytteet tyhjiillä.

Figure 30. Complete mineralisation of ^{14}C -labelled formate to $^{14}\text{CO}_2$ at +6 °C in soil samples from the Kauriansalmi site. The samples are indicated with solid symbols and the sterile controls with open symbols.



Kuva 31. ^{14}C -formiaatin täydellinen hajoaminen $^{14}\text{CO}_2$:ksi Kauriansalmen maanäytteissä. Näytteet pidettiin -2 °C:ssa ajalla 0-5 d, jonka jälkeen lämpötila nostettiin +1 °C:seen. Näytteet on merkitty täytetyillä symboleilla, kontrollinäytteet tyhjiillä.

Figure 31. Complete mineralisation of ^{14}C -formate to $^{14}\text{CO}_2$ in soil samples from the Kauriansalmi site. For the first 5 days, the samples were incubated at -2 °C and thereafter at +1 °C. The samples are indicated with solid symbols and the sterile controls with open symbols.

3.9.2 Formiaatin aerobinen ja anaerobinen biohajoaminen maa-pohjavesi-lietteissä ja näytteiden hiilidioksidin- ja metaanintuotto

Kauriansalmen maanäytteisiin lisätty formiaatti hajosi aerobisesti kaikissa maanäytteissä (Taulukko 4). Formiaatin anaerobinen hajoaminen näytteissä oli hitaampaa, mutta pisteen C pintamaassa (5-15 cm) formiaatin anaerobinen biohajoaminen oli kertaluokkaa nopeampaa kuin aerobinen biohajoaminen kolmessa muussa tutkituista näytteistä (Taulukko 4). Pisteestä C otettu pintamaanäyte (5-15 cm) erottui muista näytteistä huomattavasti korkeamman kokonaismikrobiaktiivisuuden (aerobinen hiilidioksidin tuotto) perusteella. Selittävä tekijä on orgaanisen aineksen määrä, joka oli kyseisessä näytteessä noin 10-kertainen kolmeen muuhun näytteeseen verrattuna (Taulukko 4). Tutkituissa, syvempiä kerroksia edustaneissa maanäytteissä (pisteistä M1-M8) ei havaittu metaanintuottoa.

Taulukko 4. Orgaanisen aineen määrä, formiaatin hajoamisnopeus ja aerobinen hiilidioksidin tuotto Kauriansalmen maanäytteissä.

Table 4. Organic matter content, reduction of formate and aerobic production of carbon dioxide in the Kauriansalmi soil-groundwater samples.

Näytteenottopiste syvyys	Orgaaninen aine % dwt ⁻¹	Hajoamisnopeus		Aerobinen CO ₂ tuotto m ³ g ⁻¹ kp.
		Aerobinen mg h ⁻¹ kg ⁻¹ kp.	Anaerobinen mg h ⁻¹ kg ⁻¹ kp.	
B 70-80 cm	0.43	0,026	0.0058	0.016
C 50-60 cm	0.70	0,021	0,0032	0.11
C 5-15 cm	5.4	6.3	0,36	2.1
E 5-15 cm	0.33	0,049	0.0028	0.015

3.9.3 Arvio formiaatin biohajoamisesta Kauriansalmen koalueen maaperässä

Oletetaan, että tiealueelta vuoden aikana maaperään valuva keskimääräinen formiaattipitoisuus yhtä tiemetriä kohti on 660 mg l⁻¹ ja koko vuoden sademäärä 440 mm. Oletetaan lisäksi, että formiaatti leviää tasaisesti tien vierelle yhden neliömetrin alueelle. Tällöin formiaattiannos on 290,4 g m⁻².

Oletetaan, että tämän yhden neliömetrin alueella on 15 cm paksuinen kerros mikrobiologisesti aktiivista maata (piste C; 5-15 cm; Taulukossa 4). Jos formiaattiannos (290,4 g) leviää tasaisesti tähän 15 cm paksuiseen kerrokseen 1 m² alalle, kuluu koko formiaattiannoksen biohajoamiseen täysin aerobisissa oloissa +6 °C:ssa 116 h eli alle 5 vrk. Mikäli kyseinen maakerros on täysin anaerobinen, hajoamiseen kuluu noin 85 vrk (T= +6 °C).

Jos formiaattiannos päättyy kokonaisuudessaan syvemmälle maaperään (piste C; 50-60 cm; Taulukossa 4) ja leviää tietä kohtisuoraan olevalle kaistaleelle, jonka leveys on 1 m, paksuus 3 m ja pituus 15 m (= lähimpien pohjavesiputkien etäisyys tiestä), formiaattiannoksen hajoamiseen kuluu 116 h eli alle 5 vrk (aerobiset olosuhteet, lämpötila +6 °C). Jos olosuhteet syvemmällä maaperässä ovat anaerobiset, kuluu hajoamiseen samassa kaistaleessa 761 h eli noin 32 vrk (T= +6 °C).

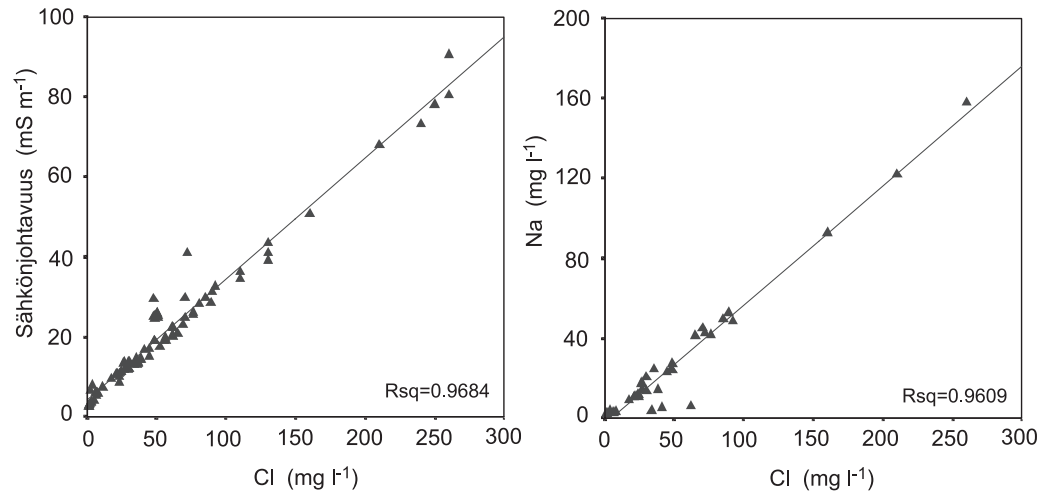
3.10 Tilastollinen tarkastelu

Pohjaveden kemiallisten parametrien keskinäistä riippuvuutta tutkittiin Spearmanin korrelaatioanalyysillä (liite 6, taulukko d ja e). Merkitsevyystason 99.9 % alittavat korrelaatiot on jätetty pois taulukosta.

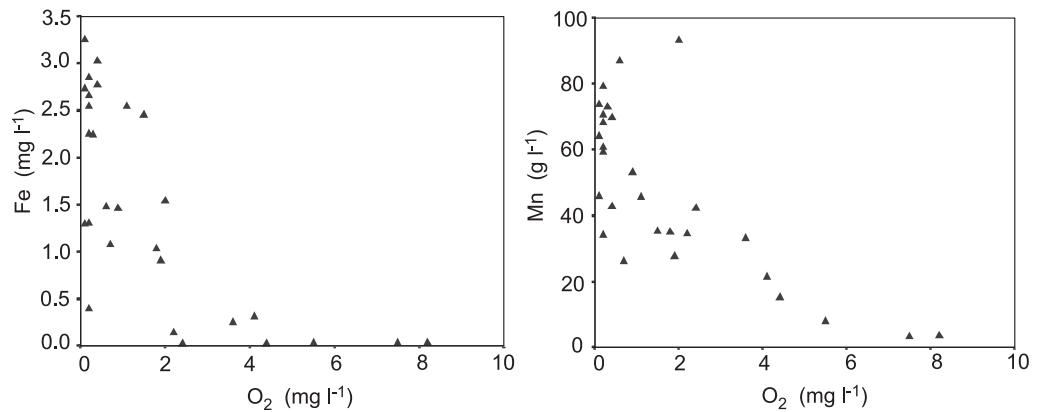
Sähkönjohtavuudella on voimakas positiivinen korrelaatio natrium- ja kloridipitoisuuden kanssa (kuva 32). Koko aineiston kloridi- ja natriumpitoisuuden välistä korrelaatiota alentaa mm. M3-putkesta otetut näytteet, jossa kloridi oli peräisin soratiella pölynsidontaan käytetystä kalsiumkloridista. Natrium korreloi positiivisesti myös mm. bariumin ja kaliumin kanssa, koska natrium uuttaa maaperän kationinvaihtopaikoilta muita helposti vaihtuvia kationeita.

Pohjaveden alhaisen happipitoisuuden vaikutus näkyy korrelaatiotarkastelussa selvästi. Happipitoisuudella on selkeä negatiivinen korrelaatio raudan ja mangaanin (kuva 33) sekä nitraatin kanssa.

Formiaatin biohajoamis- ja mikrobiaktiivisuuskokeiden tulosten perusteella aerobinen hiilidioksidintuotto korreloi voimakkaasti orgaanisen aineksen määrän kanssa ($r^2 = 0.976$, $p < 0.01$, Spearmanin korrelaatio); hiilidioksidintuotona määritetty kokonaismikrobiaktiivisuus lisääntyi lähes lineaarisesti orgaanisen aineksen määrän kasvaessa. Lisätyn formiaatin (25 mg l^{-1}) biohajoaminen (sekä aerobinen että anaerobinen) ei korreloinut yhtä voimakkaasti orgaanisen aineksen määrän kanssa silloin, kun orgaanista ainetta oli alle 0.8 \% dwt^{-1} .



Kuva 32. Sähkönjohtavuuden ja kloridin sekä natriumin ja kloridin välinen korrelaatio.
Figure 32. Correlations between a) specific conductance and chloride concentration; b) sodium concentration and chloride concentration.



Kuva 33. Hapen korrelaatio raudan ja mangaanin kanssa.
Figure 33. Correlations between a) dissolved oxygen concentration and ferrous iron concentration; and b) dissolved oxygen concentration and manganese concentration.

Johtopäätökset

Suomenniemen Kauriansalmen pohjavesialueen poikki kulkevalla tieosuudella (vt 13) on ennen talvea 2002-2003 käytetty natriumkloridia keskimäärin noin 6 000 kg km⁻¹ vuodessa, jonka seurauksena pohjaveden natrium- (maks. 154 mg l⁻¹) ja kloridipitoisuudet (maks. 260 mg l⁻¹) ovat nousseet merkittävästi. Lisäksi alueella kulkevalla soratiellä on käytetty kesäisin pölynsidontaan 1 200 kg km⁻¹ kalsiumkloridia, joka näkyi pohjavedessä paikoin kohonneina kalsium- (maks. 31,4 mg l⁻¹) ja kloridipitoisuuksina (maks. 62 mg l⁻¹). Pohjaveden luontainen happamuus yhdes-
sä korkean kloridipitoisuuden kanssa lisää veden korrodoivuutta ja tämä havaittiin Kauriansalmen ottamon vesinäytteiden luonnontilaisia metallipitoisuuksia selvästi korkeampina kupari-, lyijy, nikkeli- ja sinkkipitoisuuksina. Talvikaudella 2002-2003 alueen liukkaudentorjunnassa käytettiin natriumkloridin asemesta kaliumformiaattia 5 400 kg km⁻¹.

Kauriansalmen pohjavesialueen topografian jyrkkyyden seurauksena alueen hydrologinen kierto on lyhyt ja muutokset pohjaveden laadussa olivat nopeasti havaittavissa. Tutkimusvuoden aikana pohjaveden kloridipitoisuus 15 metrin etäisyydellä tiestä laski paikoin jopa yli 40 %. Pohjaveden päävirtaussuunta on pohjoisesta etelään. Suolan kulkeutumisen pääosin vt 13:n itäpuolelle aiheuttaa kallioperän topografia ja paikalliset virtausolosuhteet. Vedenottamon pohjoispuolella kallioperässä on kohouma, joka rajoittaa pohjaveden virtausta ottamolle pohjoisesta. Ottamolle kulkeutuu suolaisempaa pohjavettä pääasiassa keväällä lumen sulamisen jälkeen, jolloin pohjaveden pinta on korkealla. Vastusluotaus- ja IP-mittauksilla ei yhden vuoden monitoroinnin perusteella havaittu selkeitä muutoksia alueen sähköisissä ominaisuuksissa natriumkloridin käytön lopettamisen jälkeen.

Kaliumformiaatin ensimmäisen talvikauden 5 400 kg km⁻¹ levitysmäärällä ei havaittu pohjaveden laadun kannalta haitallisia vaikutuksia seuraavaan talvikautteen mennessä. Pohjaveden laadussa tapahtui tutkimusvuoden aikana vain normaalia vuodenaikaisvaihtelusta aiheutuvia muutoksia. Vesianalyysien perusteella kaliumformiaatin sisältämä kalium todennäköisesti pidättyi maaperään, sillä kaliumpitoisuuksissa ei tutkimuskauden aikana havaittu muutosta. Biohajoamiskokeet osoittivat, että formiaatin hajoaminen käynnistyi nopeasti (alle 3 h) alhaisissa lämpötiloissa (+6, +1 ja -2 °C). Formiaatin hajoaminen oli nopeinta pintamaanäytteissä (5-15 cm), joissa orgaanisen aineksen määrä oli suurin (5,4 % kuivapainosta). Tutkimustulosten perusteella formiaatin voidaan olettaa hajonneen hiilidioksidiksi ja vedeksi tien läheisyydessä pintamaakerroksissa ennen kulkeutumista pohjaveden mukana kauemmaksi. Saatujen tulosten perusteella voidaankin olettaa, että Kauriansalmen kaltaisten niukasti orgaanista ainesta ja ravinteita sisältävien hiekaisten pohjavesimuodostumien mikrobiaktiivisuus on riittävää formiaatin hajoiselle kylmissä olosuhteissa.

Vaihtoehtoisena liukkaudentorjunta-aineena käytettävän kaliumformiaatin vaikutuksista tienvarsikasvillisuuteen ei yhden kasvillisuuslinjan perusteella voida tehdä johtopäätöksiä. Jos kaliumformiaatilla olisi haittavaikutuksia tienvarsikasvillisuuteen näkyisivät ne todennäköisesti piennaralueen heinävaltaisessa lajistossa.

Pohjaveden laadussa tutkimusvuoden aikana mahdollisesti huomaamatta jääneiden vaikutusten sekä pidempiaikaisen käytön vaikutusten selvittämiseksi kaliumformiaatin käyttöä liukkaudentorjunnassa jatketaan Kauriansalmen pohjavesialueen läpi kulkevalla vt 13:lla vielä talvikaudella 2003-2004. Samalla saadaan lisää tietoa mm. sääolosuhteiden vaikutuksesta formiaatin käyttömääriin. Sääolosuhteiden ja liukkaudentorjunta-aineen käyttömäärien mahdollinen vaihtelu eri talvikausien välillä antaa tärkeitä lisätietoja kaliumformiaatin todellisesta soveltuvuudesta vaihtoehtoiseksi liukkaudentorjunta-aineeksi. Lisätutkimuksia tarvitaan myös, jotta pystytään arvioimaan tarkemmin useamman vuoden kaliumformiaatin käytön vaikutukset mm. tienvarsien kasvillisuuteen, maaperään ja pohjaveden mikrobiologiseen laatuun.

Kirjallisuus

- Chapelle, F.H. 2001. Ground-water microbiology and geochemistry. Second edition. United States Geological Survey. John Wiley & Sons, INC. 477 s. ISBN 0-471-34852-x.
- Drebs, A., Nordlund, A., Karlsson, P., Helminen, J., Rissanen, P. 2002. Tilastoja Suomen ilmastosta 1971-2000. Ilmastotilastoja Suomesta 2002:1. Ilmatieteen laitos. ISSN 1458-4530.
- Gustafsson, J. 2000. Tiesuolauksen riskikartoitus pohjavesialueilla – valtakunnallinen yhteenveto. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 361. 101 s. ISBN 952-11-0606-9. ISSN 1238-7312.
- Hellstén, P. ja Nystén, T. 2001. Vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden kemialliset reaktiot pohjaveteen kulkeutumisessa. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 515. 77 s. ISBN 952-11-0996-3. ISSN 1238-7312.
- Hellstén, P., Nystén, T. 2003. Migration of alternative de-icers in unsaturated zone of aquifers - in vitro study. Water Science and Technology Vol 48, Nro 9. s. 45-50. ISBN 1-84339-458-8, ISSN 0273-1223.
- Hellstén, P., Nystén, T., Kokkonen, P., Valve, M., Laaksonen, T., Määttä, T. ja Miettinen, I. 2002. Vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden kulkeutuminen pohjaveteen. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 552. 63 s. ISBN 952-11-1126-7. ISBN 952-11-1127-5. ISSN 1238-7312.
- Joutti, A., Schultz, E., Pessala, P., Nystén, T. & Hellstén, P. Ecotoxicity of Alternative de-icers. JSS, Vol 3, Nro 4, 2003. s. 269-272.
- Kivelä, H., Nenonen, A., Nystén, T., Hellstén, P. ja Tuorila, H. 2003. Vaihtoehtoiset tiesuolat maistuvat vasta korkeina pitoisuuksina. Vesitalous, Nro 1, 2003. s.18-21. ISSN 0505-3838
- Madigan, M., Martinko, J., Parker, J. 2002. Brock Biology of Microorganisms, 10th edition. Prentice Hall, New Jersey, 1104 s.
- Peltoniemi, M. Maa- ja kallioperän geofysikaaliset tutkimusmenetelmät. Espoo, Otakustantamo. 411 s.
- Salminen, J., Tuomi, P., Suortti, A.-M., Jørgensen, K. 2003. Potential for aerobic and anaerobic biodegradation of petroleum hydrocarbons in boreal subsurface. (Painossa. Biodegradation)
- Sharma, P.V. 1997. Environmental and engineering geophysics. Cambridge University Press, Cambridge, 475 s.
- STM 461/2000. Soveltamisopas sosiaali- ja terveysministeriön asetukseen talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista. Helsinki, Vesi- ja viemärilaitosyhdistys, Suomen kuntaliitto. ISBN 952-5000-26-5.
- Tyrväinen, A. 1990. Kallioperäkartta – Pre-Quaternary rocks, 3141, Ristiina. Suomen geologinen kartta – Geological map of Finland, 1 : 100 000.
- Vaittinen, K. 2003. Tiesuolalla kontaminoituneen Kauriansalmen pohjavesialueen tutkiminen geofysiikan sähköisin menetelmin. Pro gradu -tutkielma, Oulun yliopisto, geotieteiden laitos, 88 + 21 s.

Liite 1. Kaliumformiaatin levityksen seurantalomake.

FORMIAATTI KOKEILU 2002-03, SUOMENNIEMI

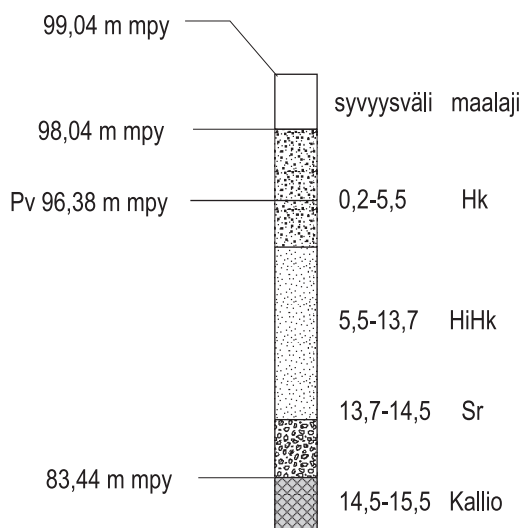
Päivä / kk	Klo	Lämpö- tila	sade on/ei	Käytetty formiaatti l/km		Keli- koodi	Vertailusuus (vt 13 norm.) suola t/km	Huom. (esim. Havainoitsija, laiteviat, sulatusnopeus)
				yksin	hiekan seassa			
06.10.2002	21:00	-1	ei	47,05 / 80		1		
09.10.2002	7:55	0	ei	47,05 / 80		1		
16.10.2002	23:35	-1	ei	58,8 / 100		1		
24.10.2002	17:30	-2	on	88,3 / 150		7		
25.10.2002	19:35	-2,2	ei	70,5 / 120		1		
27.10.2002	4:20	0	on	58,8 / 100		7		
30.10.2002	3:30	0	on	70,5 / 120		1		
31.10.2002	4:35	-1	on	88,3 / 150		1		
08.11.2002	22:05	-1	on	58,82/100		1		
09.11.2002	9:05	-1	on	88,24/150		7		
09.11.2002	15:10	-3	on	117,65/200		7		
13.11.2002	13:30	-5	ei		29,41/50	2		
17.11.2002	19:10	-2	on	88,24/150		2		
18.11.2002	5:00	-5	on	47,16/80		3		
19.11.2002	5:40	-4	on	88,24/150		3		
19.11.2002	15:30	0	on	117,65/200		3		
19.11.2002	19:00	0	on	117,65/200		4		
20.11.2002	10:40	1	on	1,41/2,4		4		
20.11.2002	14:10	-1	on	70,59/120		4		
20.11.2002	18:40	-1	on	235,29/400		4		
21.11.2002	21:30	-6	on	235,29/400		4		
22.11.2002	9:00	-6	ei	117,65/200		4		
23.11.2002	10:00	-4	on	147,06/250		3		
25.11.2002	6:00	-6	ei	117,65/200		2		
25.11.2002	19:30	-2	on	117,65/200		2		
27.11.2002	14:30	-2	on	88,24/150		2		
02.12.2002	16:30	-10	on		58,82 / 100	2		
04.12.2002	9:10	-8	ei		58,82 / 100	2		
09.12.2002	8:10	-9	ei		58,82 / 100	2		
10.12.2002	6:30	-10	ei		47,06 / 80	2		
12.12.2002	15:15	-3	ei	147,06 / 250		3		
15.12.2002	11:20	-4	ei	88,24 / 150		2		
19.12.2002	19:30	-2	on	47,06 / 80		2		
20.12.2002	9:00	0	on	176,47 / 300		3	0,18	
27.12.2002	11:30	-14	ei		35,29 / 60			
15.01.2003	12:00	-10	ei		29,41 / 50	3		
16.01.2003	9:30	1	on	3,24 / 5,50		4		
16.01.2003	12:00	1,4	on	147,06 / 250		4		
16.01.2003	16:00	1,4	on	382,35 / 650		4		
20.01.2003	12:00	-12	ei		117,65 / 200	2		
21.01.2003	9:30	-1	ei	117,65 / 200		2	0,12	
21.01.2003	22:30	0	ei	88,24 / 150		2		
22.01.2003	18:15	-2	ei	88,24 / 150		3		

Taulukko jatkuu seuraavalla sivulla.

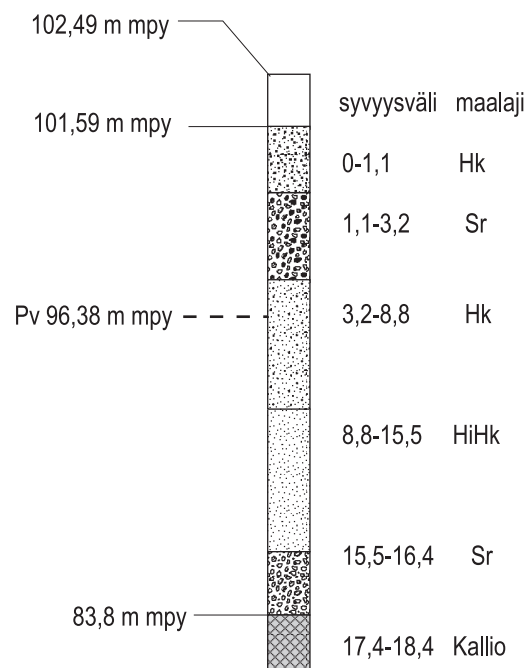
Päivä / kk	Klo	Lämpö- tila	sade on/ei	Käytetty formiaatti l/km		Keli- koodi	Vertailuosuus (vt 13 norm.) suola t/km	Huom. (esim. Havainoitsija, laiteviat, sulatusnopeus)
				yksin	hiekan seassa			
23.01.2003	9:30	-2	on	88,24 / 150		3	0,11	
23.01.2003	13:30	-2	on	88,24 / 150		3	0,12	
23.01.2003	19:30	-2	on	176,47 / 300		3		
24.01.2003	15:00	-12	ei	147,06 / 250		2		
26.01.2003	7:00	0	on	147,06 / 250		4	0,13	
27.01.2003	2:45	0	on	176,47 / 300		2	0,11	vesinen märkä tie
27.01.2003	7:40	0	on	235,29 / 400		2	0,2	ei sulata
28.01.2003	11:30	-13	ei	205,88 / 350		3		ei tehoa
09.02.2003	15:00	-3	ei		58,82 / 100	3		
10.02.2003	8:30	-4	ei	147,06 / 250		3	0,12	
10.02.2003	23:10	-3	ei	117,65 / 200		3	0,18	
12.02.2003	2:30	-3	ei	194,12 / 330		3	0,16	
13.02.2003	8:50	-3	ei	88,24 / 150		3	0,05	
14.02.2003	0:00	-1	on	205,88 / 350		5	0,2	
14.02.2003	8:30	-1	on	117,65 / 200		5	0,09	
16.02.2003	20:00	-2	ei	205,88 / 350		3	0,11	
17.02.2003	20:30	-4	ei	117,65 / 200		1	0,07	
18.02.2003	8:30	-4	ei	88,24 / 150		1	0,04	
19.02.2003	4:00	-4	ei	147,06 / 250		1	0,07	
26.02.2003	20:00	-5	ei	117,65 / 200		2	0,08	
27.02.2003	6:45	-4	ei	117,65 / 200		3	0,07	
09.03.2003	21:05	-2	ei	88,24/150		2	0,14	
10.03.2003	21:55	0	on	88,24/150		2	0,16	
12.03.2003	9:05	0	ei	58,82/100		1	0,09	
17.03.2003	6:05	-3	ei	58,82/100		2	0,05	
30.03.2003	21:00	-2	ei	58,82/100		1	0,05	
31.03.2003	8:15	-2	on	88,24/150		3	0,09	
03.04.2003	19:40	-4	ei	88,24/150		2	0,16	
04.04.2003	21:15	-3	on	117,65/200		2	0,09	
05.04.2003	5:55	-2	on	88,24/150		3	0,12	
05.04.2003	20:10	-3	on	117,65 / 200		3	0,16	
06.04.2003	7:20	-6	ei	88,24/150		4	0,09	

Liite 2. Pohjavesiputkien kairaustiedot.

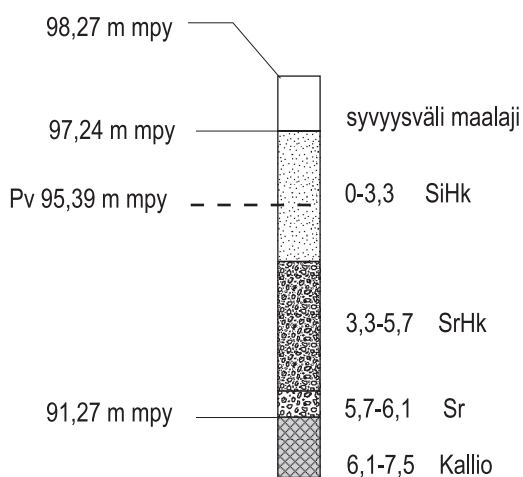
M1 X:3521738, Y:6806095



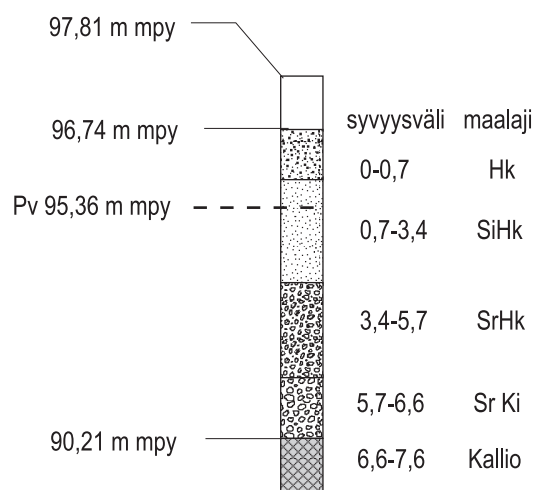
M2 X:3521768, Y:6806076



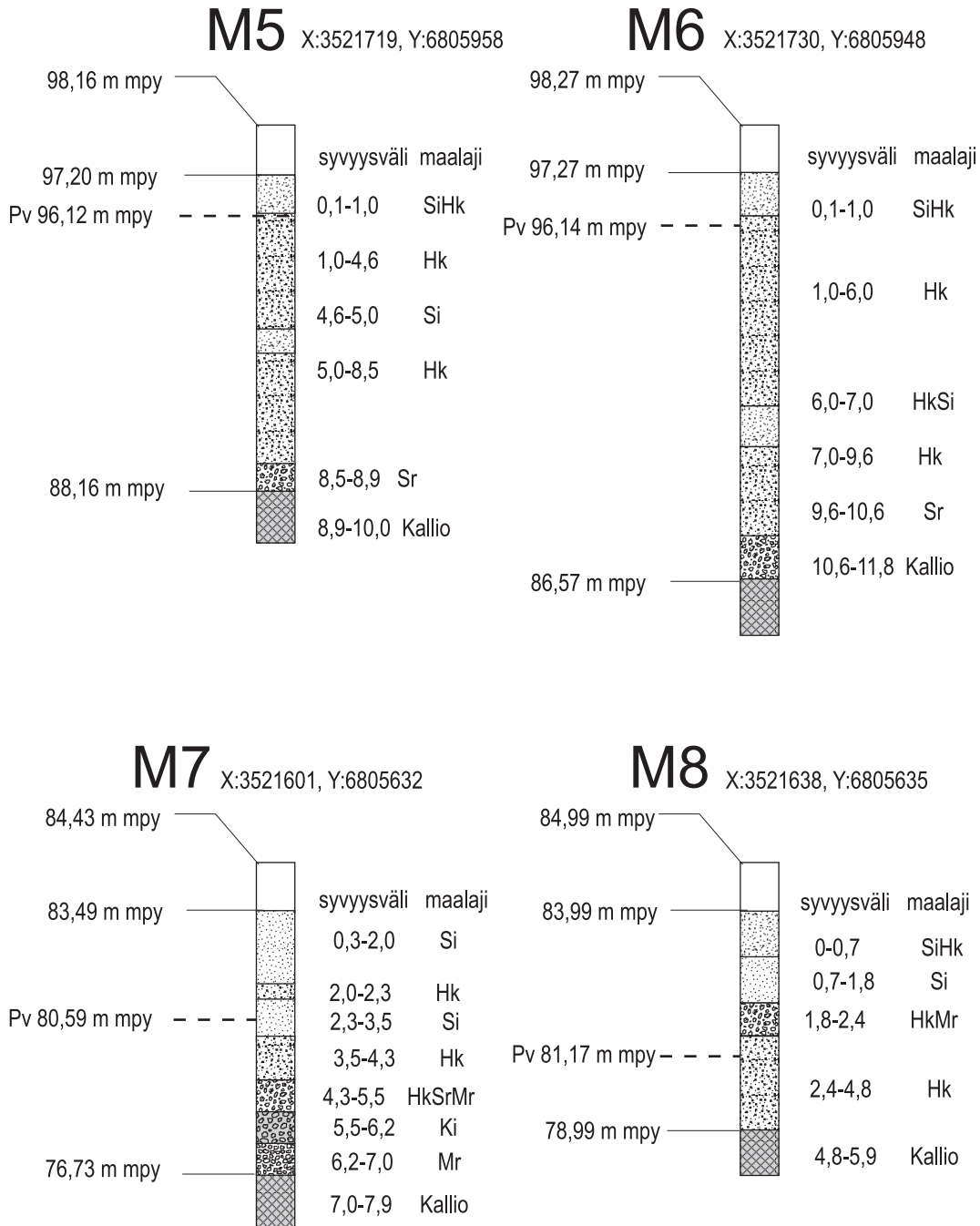
M3 X:3521672, Y:6805974



M4 X:3521682, Y:6805996



Liite 3. Pohjavesiputkien kairaustiedot.



Taulukko a. Vuoden 2002 ja 2003 inventoinneissa koeruuduilla havaittujen laijien peittävyysprosentit.

Table a. Observed species and species coverage (%) in the sample plots in years 2002 and 2003.

[illegible]

Taulukko b. Vuoden 2002 ja 2003 inventoinneissa koeruuduilla havaittujen lajien keskimääräinen peittävyys kaikilta ruuduilta yhdessä ja ruuduilta 1-3 (piennaralue) sekä ruuduilta 4-9 (kangasmetsäalue) erikseen. Selvimät muutokset peittävydessä on kuvattu lihavoituna.

Table b. Mean coverage of the observed species in all the sample plots in years 2002 and 2003 (column A). Column B represents mean coverage in the sample plots 1-3 (on the edge of the road) and column C mean coverage in the sample plots 4-9 (forest area). The most obvious changes are indicated with bold fonts.

Laji	havaintojen määrä (ruutumäärä)		keskimääräinen peittävyys (kaikki ruudut)		keskimääräinen peittävyys ruudut 1-3		keskimääräinen peittävyys ruudut 4-9	
	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003
<i>Achillea millefolium</i> (siankärsämö)	2	2	10.3	8.0	10.3	8.0	0.0	0.0
<i>Agrostis capillaris</i> (nurmirölli)	1	0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
<i>Angelica sylvestris</i> (karhunputki)	2	2	1.6	2.6	1.6	2.6	0.0	0.0
<i>Antriscus sylvestris</i> (koiranputki)	1	1	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0
<i>Betula pendula</i> (rauduskoivu)	1	1	7.0	7.0	7.0	7.0	0.0	0.0
<i>Calamagrostis arundinacea</i> (metsäkastikka)	1	1	5.0	7.0	0.0	0.0	5.0	7.0
<i>Calamagrostis epigejos</i> (hietakastikka)	4	4	11.3	7.5	13.3	8.3	5.0	5.0
<i>Deschampsia cespitosa</i> (nurmilauha)	1	0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0
<i>Deschampsia flexuosa</i> (metsälauha)	8	8	10.1	5.4	15.0	3.7	7.2	6.4
<i>Hieracium umbellatum</i> (sarjakeltano)	2	1	0.3	3.0	0.3	3.0	0.0	0.0
<i>Linnaea borealis</i> (vanamo)	4	3	2.9	10.0	0.0	0.0	2.9	10.0
<i>Luzula pilosa</i> (kevätpiippo)	1	1	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0
<i>Maianthemum bifolium</i> (oravanmarja)	3	4	0.5	4.1	0.0	0.0	0.5	4.1
<i>Melampyrum pratense</i> (kangasmaitikka)	1	4	1.0	0.8	0.0	1.0	1.0	0.5
<i>Pinus sylvestris</i> (mänty)	1	1	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0
<i>Pteridium aquilinum</i> (sananjalka)	5	5	9.6	24.6	17.5	35.0	4.3	17.7
<i>Rubus saxatilis</i> (lillukka)	5	5	5.8	14.6	9.0	22.3	1.0	3.0
<i>Solidago virgaurea</i> (kultapiisku)	1	1	1.0	5.0	1.0	5.0	0.0	0.0
<i>Trientalis europaea</i> (metsätähti)	3	3	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8	0.8
<i>Trifolium pratense</i> (alsikeapila)	1	0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
<i>Trifolium repens</i> (valkoapila)	1	0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> (puolukka)	7	7	16.9	13.0	30.0	30.0	14.7	10.2
<i>Vaccinium myrtillus</i> (mustikka)	7	7	8.2	15.1	0.5	3.0	9.5	17.2

Taulukko c. Vuoden 2002 ja 2003 inventoinnissa koeruuduilla havaittujen lajien kuntoarvio. Luokittelu asteikolla 1 = hyvä, 2 = tyydyttävä, 3 = huono ja 4 = kuollut. Positiiviset muutokset esitetty tummennettuina ja negatiiviset alleviivattuina.

Table c. The condition of the observed species in the sample plots 1-9 in years 2002 and 2003. Classification of the state was: 1 = good state, 2 = moderate state, 3 = poor state and 4 = dead. Positive changes are indicated with bold fonts and negative changes with underlined fonts.

Laji	ruutu 1		ruutu 2		Ruutu 3		ruutu 4		ruutu 5		ruutu 6		ruutu 7		ruutu 8		ruutu 9	
	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003
<i>Achillea millefolium</i> (siankärsämö)	1	1	2	1														
<i>Agrostis capillaris</i> (nurmiorölli)																		
<i>Angelica sylvestris</i> (karhunputki)	<u>1</u>	<u>3</u>			1	1												
<i>Antriscus sylvestris</i> (koiranputki)			<u>1</u>	<u>2</u>														
<i>Betula pendula</i> (rauduskoivu)	<u>1</u>	<u>2</u>																
<i>Calamagrostis arundinacea</i> (metsäkastikka)									2	1								
<i>Calamagrostis epigejos</i> (hietakastikka)	2	2	2	1	2	1	2	1										
<i>Deschampsia cespitosa</i> (nurmilauha)							2											
<i>Deschampsia flexuosa</i> (metsälauha)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3				1	1
<i>Hieracium umbellatum</i> (sarjakeltano)	3		4	1														
<i>Linnea borealis</i> (vanamo)											1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Luzula pilosa</i> (kevätpiippo)					2	1												
<i>Maianthemum bifolium</i> (oravanmarja)									1				4	1	4	1	4	1
<i>Melampyrum pratense</i> (kangasmaitikka)				1		1							1				4	4
<i>Pinus sylvestris</i> (mänty)			1	1														
<i>Pteridium aquilinum</i> (sananjalka)			4	1	3	1	3	1			4	1					4	4
<i>Rubus saxatilis</i> (lillukka)	2	2	2	2	3	2	2	1	2	1								
<i>Solidago virgaurea</i> (kultapiisku)	1	1																
<i>Trientalis europaea</i> (metsätähti)											1	3			4	2	4	2
<i>Trifolium pratense</i> (alsikeapila)	2																	
<i>Trifolium repens</i> (valkoapila)	1																	
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> (puolukka)					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Vaccinium myrtillus</i> (mustikka)					1	1	1	1	1	1	3	1	3	1	3	1	4	1
<i>Viola canina</i> (aho-orvokki)	2	1	2	1	2													

Taulukko d. Kauriansalmen pohjaveden laatuomuttujien keskinäiset korrelaatiokertoimet (Spearman).

Table d. Spearman correlation coefficients (paired tests with all the water quality parameters).

	Cl	TOC	Heterot	pH	Lämp.	Sähkj.	O ₂	Alkal.	Asid.	N _{NO3}	N _{tot}	P _{tot}	SO ₄	KMnO ₄	Redox
Cl															
TOC	,31**														
Heterot	-,27**	-,29**													
PH		,23**													
Lämp.															
Sähkj.	,97**	,41**	-,24**	,21**											
Happi	-,28**	-,76**	,25**			-,31**									
Alkal.	-,36**			,55**											
Asid.							-,70**								
N _{NO3}		-,35**					,88**		-,49**						
N _{tot}															
P _{tot}			,69**												
SO ₄	,38**	,68**				,44**	-,72**			-,43**					
KMnO ₄								,60**		-,59**			-,68**		
Redox		-,36**		-,31**			,57**	-,74**	-,43**						
Al		,62**					-,68**		,42*	-,56**			,84**		
As	-,56**	,33*				-,55**	-,56**	,57**		-,69**		,65**			-,52**
B		,73**		,45**		,44**	-,64**						,59**		
Ba	,90**					,88**					,69**				
Cd															
Cr	-,51**					-,50**									
Cu															
K	,69**					,67**					,80**				
Mn							-,70**			-,63**					
Mo	-,45**	,44**				-,41**	-,62**	,46**		-,64**					
Ni		,64**	-,53**				-,66**						,77**		
Pb		,60**	-,44**				-,72**					-,78**	,62**		
Sb															
Zn		,46**											,63**		
Ca	,44**					,45**									
Fe							-,75**	,56**		-,71**		,69**			-,74**
Mg							-,60**			-,60**					
Na	,90**	,48**	-,45**			,90**							,54**		

** Korrelaatio on merkitsevä, 0,1 tasolla

Taulukko e. Kauriansalmen pohjaveden laatumuuttujien (alkuaineet) keskinäiset korrelaatiokertoimet (Spearman).

Table e. Spearman correlation coefficients (paired tests with elemental parameters).

	Al	As	B	Ba	Cd	Cr	Cu	K	Mn	Mo	Ni	Pb	Sb	Zn	Ca	Fe	Mg	Na
Al																		
As																		
B	,42**																	
Ba		-,43**																
Cd																		
Cr																		
Cu																		
K		-,44**		,71**			-,44**											
Mn	,63**	,60**																
Mo	,46**	,81**						-,58**	,52**									
Ni	,64**		,55**				,49**		,41**									
Pb	,69**		,71**				,41**			,51**	,75**							
Sb		,64**						-,44**	,44**	,71**	,47**							
Zn			,43**				,70**				,76**	,65**						
Ca				,44**				,46**										
Fe		,76**							,78**	,55**								
Mg	,58**	,46**							,73**				,43**			,51**		
Na			,52**	,82**		-,48**		,51**			,55**	,44**		,41**				

** Korrelaatio on merkitsevä ,01 tasolla

Kuvailulehti

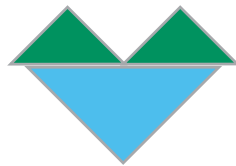
Julkaisija	Suomen ympäristökeskus (SYKE)	Julkaisu-aika	Helmikuu 2004
Tekijä(t)	Pasi Hellstén, Taina Nystén, Jani Salminen, Kirsti Grandlund, Taija Huotari ja Veli-Matti Vallinkoski		
Julkaisun nimi	Kaliumformiaatin hajoaminen maaperässä ja pohjavedessä MIDAS-loppuraportti		
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut	Julkaisu on saatavana myös internetistä www.ymparisto.fi/julkaisut		
Tiivistelmä	<p>Vuosina 1998-2001 tehtyjen vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden tutkimuksissa todettiin kaliumformiaatti lupaavimmaksi aineeksi. Maastotutkimuksessa talvikaudella 2002-2003 sitä käytettiin liukkaudentorjunnassa Suomenniemellä Kaakkois-Suomessa, Kauriansalmen pohjavesialueella kulkevalla vt13:lla. Maastotutkimuksen tarkoituksena oli saada uutta tietoa kaliumformiaatin kulkeutumisesta ja hajoamisesta Suomessa tyypillisissä matalissa maaperä- ja pohjavesiolosuhteissa. Kaliumformiaatin mahdollista leviämistä alueen pohjaveteen seurattiin pohjavesiputkista, yksityiskaivoista ja paikalliselta vedenottamolta. Formiaatin biohajoamista tutkittiin laboratoriomittakaavassa alueelta otetuista maaperä- ja pohjavesinäytteistä.</p> <p>Kaliumformiaattia levitettiin ensimmäisen talvikauden aikana 5 400 kg km⁻¹ eikä pohjaveden laadun kannalta haitallisia vaikutuksia havaittu seuraavaan talvikauteen mennessä. Tutkimusvuoden aikana pohjaveden happi- (mediaani 1,1 mg l⁻¹), kalium- (mediaani 0,8 mg l⁻¹) ja orgaanisen hiilen pitoisuudessa (mediaani 1,9 mg l⁻¹) ei tapahtunut normaalista vuodenaikaisvaihtelusta poikkeavaa muutosta. Sen sijaan pohjaveden natrium- (maksimi 158 mg l⁻¹) ja kloridipitoisuudet (maksimi 260 mg l⁻¹) laskivat tien läheisyydessä paikoin jopa yli 40 %. Pohjavesialueella tehdyillä sähköisillä mittauksilla (maavastus ja IP-mittaus) ei pohjaveden suolapitoisuudessa havaittu kuitenkaan selkeää vähenemistä.</p> <p>Biohajoamiskokeet osoittivat, että formiaatin hajoaminen käynnistyi nopeasti (alle 3 h) alhaisissa lämpötiloissa (+6, +1 ja -2 °C). Formiaatin hajoaminen oli nopeinta pintamaanäytteissä (5-15 cm), joissa orgaanisen aineksen määrä oli suurin (5,4 % kuivapainosta). Tutkimustulosten perusteella formiaatin voidaan olettaa hajonneen hiilidioksidiksi ja vedeksi tien läheisyydessä pintamaakerroksissa ennen kulkeutumista pohjaveden mukana kauemmaksi. Yhden talven mittaisella kaliumformiaatin käytöllä ei ollut vaikutuksia pohjaveden ja maaperän laatuun eikä kasvilisäuteen, mutta pitkäaikaisvaikutusten selvittämiseksi tutkimusta jatketaan myös 2003-2004.</p>		
Asiasanat	biohajoaminen, formiaatti, kaliumformiaatti, kalsiumkloridi, kloridi, liukkaudentorjunta, maaperä, natriumkloridi, pohjavesi, talvikunnossapito, tiet, ympäristövaikutukset, veden laatu		
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristö 675		
Julkaisun teema	Ympäristönsuojelu		
Projektihankkeen nimi ja projektinumero	Vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden kulkeutuminen pohjaveteen, MIDAS A06025		
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Tiehallinto, Ilmailulaitos ja ympäristöministeriö		
Projektiryhmään kuuluvat organisaatiot			
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-1622-6	952-11-1623-4 (PDF)
	Sivuja 53	Kieli Suomi	
	Luottamuksellisuus Julkinen	Hinta 8 e	
Julkaisun myynti/ jakaja	Edita Publishing Oy, PL 800, 00043 Edita, vaihde 020 450 00 Asiakaspalvelu: puh. 020 450 05, telefax 020 450 2380 Sähköposti: asiakaspalvelu@edita.fi , www.edita.fi/netmaket		
Julkaisun kustantaja	Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki		
Painopaikka ja -aika	Edita Prima Oy, Helsinki 2004		

Presentationssblad

Utgivare	Finlands miljöcentral (SYKE)	Datum	Februari 2004									
Författare	Pasi Hellstén, Taina Nystén, Jani Salminen, Kirsti Grandlund, Taija Huotari och Veli-Matti Vallinkoski											
Publikationens titel	Nedbrytning av kaliumformiat i marken och grundvattnet – MIDAS-slutrapport											
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt	Publikationen finns tillgänglig på internet www.ymparisto.fi/julkaisut											
Sammandrag	<p>Vid de undersökningar av alternativa halkbekämpningsmedel som genomfördes under åren 1998-2001 konstaterades kaliumformiat vara det mest lovande. Vid fältundersökningar som gjordes under vintern 2002-2003 användes medlet för isbekämpning i Suomenniemi i sydöstra Finland på vägen vt13 genom Kauriansalmi grundvattenområde. Ävsikten med fältförsöket var att skaffa ny kunskap om hur kaliumformiat sprider sig och sönderfaller i sådana flacka terräng- och grundvattenförhållanden som är vanliga i Finland. Kaliumformiatets sönderfall undersöktes i vattenprov som tagits ur grundvattenrör, privata brunnar eller ur vattentag samt i jord- och grundvattenprov med hjälp av mikrobiella nedbrytningstester i laboratorium.</p> <p>Under den första vintersäsongen spreds 5 400 kg km⁻¹ och under följande vintersäsong kunde inga skadliga effekter på grundvattnets kvalitet konstateras. Under undersökningsåret skedde inga onormala förändringar av grundvattnets koncentrationer av syre (median 1,1 mg l⁻¹), kalium (median 0,8 mg l⁻¹) eller organiskt kol (median 1,8 mg l⁻¹). Däremot sjönk koncentrationerna av natrium (maximum 158 mg l⁻¹) och klorid (maximum 260 mg l⁻¹) i grundvattnet ställvis i närheten av vägen med upp till 40 %. Vid elektroniska mätningar på grundvattenområdet (mätning av motstånd i mark och mätning med inducerad polarisering) noterades dock inte någon klar minskning av salthalten i grundvattnet.</p> <p>Vid de mikrobiologiska sönderfallstesterna på jord- och vattenproven bröts formiatet ned snabbt (< 3 t) i alla de undersökta temperaturerna +6, +1 och -2 °C. Formiatets sönderfall var snabbast i prover från markens ytskikt (5-15 cm), där halten organiskt material var störst (5,4 vikt-%). På basen av undersökningsresultaten kan man anta att formiatet sönderfallit till koldioxid och vatten i markens ytskikt nära vägen innan medlet sprids längre bort med grundvattnet. Användningen av kaliumformiat under en vinter hade inga effekter på grundvattnet, marken eller växtligheten men för att studera långtidseffekterna fortsätter undersökningarna även 2003-2004.</p>											
Nyckelord	formiat, kaliumformiat, kalciumklorid, klorid, halkbekämpningsmedel, isbekämpningsmedel, mark, natriumklorid, nedbrytning, grundvatten, saltning, vinterunderhåll, vägar, miljöeffekter, vattenkvalitet											
Publikationsserie och nummer	Miljö i Finland 675											
Publikationens tema	Miljövård											
Projektets namn och nummer	Spridning av halkbekämpningsmedel till grundvatten A06025											
Finansiär/ uppgångsgivare	Vägförvaltningen, Luftfartsverket och Miljöministeriet											
Organisationer i projektgruppen	<table><tr><td>ISSN 1238-7312</td><td>ISBN 952-11-1622-6</td><td>952-11-1623-4 (PDF)</td></tr><tr><td>Sidantal 53</td><td colspan="2">Språk Finska</td></tr><tr><td>Offentlighet Offentlig</td><td colspan="2">Pris 8 e</td></tr></table>			ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-1622-6	952-11-1623-4 (PDF)	Sidantal 53	Språk Finska		Offentlighet Offentlig	Pris 8 e	
ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-1622-6	952-11-1623-4 (PDF)										
Sidantal 53	Språk Finska											
Offentlighet Offentlig	Pris 8 e											
Beställningar/ distriction	Edita Publishing Ab, PB 800, FIN-00043 Edita, Finland, växel 020 450 00 Postförsäljningen: Telefon +358 20 450 05, telefax +358 20 450 2380 Internet: www.edita.fi/netmarket											
Förläggare	Finlands miljöcentral, PB 140, FIN-00251 Helsingfors, Finland											
Tryckeri/ tryckningsort och -år	Edita Prima Ab, Helsingfors 2004											

Documentation page

Publisher	Finnish Environment Institute (SYKE)	Date	February 2004									
Author(s)	Pasi Hellstén, Taina Nystén, Jani Salminen, Kirsti Grandlund, Taija Huotari and Veli-Matti Vallinkoski											
Title of publication	Biodegradation of potassium formate in soil and groundwater – Final report of studies on alternative de-icing chemicals											
Parts of publication/ other project publications	This publication is also available in the Internet www.ymparisto.fi/julkaisut											
Abstract	<p>Laboratory tests and pilot studies, conducted in 1998-2001, demonstrated that potassium formate is the most advantageous alternative de-icing chemical. It was applied on a field site in south-eastern Finland during winter season 2002-2003 to study transport and biodegradation of potassium formate in shallow aquifers and weather conditions characteristic for Finland. The monitoring programme at the Kauriansalmi field site in Suomenniemi involved groundwater samples from a network of monitoring wells, private dug wells and a water intake well. Furthermore, laboratory experiments using soil and groundwater samples were conducted to study the microbial degradation of potassium formate at a range of low temperatures.</p> <p>During the first monitored winter season, 5400 kg of potassium formate per kilometre was applied on the highway 13. By the second winter season, no harmful effects on groundwater quality were detected. The concentrations of dissolved oxygen (med 1,1 mg l⁻¹), potassium (med 0.8 mg l⁻¹) and total organic carbon (med 1.9 mg l⁻¹) followed the usual seasonal variation, but generally remained unchanged compared to the earlier years when sodium chloride was used for de-icing. However, sodium and chloride concentrations in groundwater nearby the road dropped considerably, with a maximum reduction of more than 40%, although electrical geophysical surveys including electrical resistivity measurements and induced polarization gauging were not sensitive enough to detect the decrease in salt concentration.</p> <p>Laboratory microcosm experiments demonstrated that biodegradation of formate initiated in less than 3 hours at temperatures of +6, +1 and –2 °C. The highest rate of formate degradation was recorded in a top soil sample (5-15 cm) with relatively high content of organic carbon (5.4 % dw⁻¹). The results indicate that mineralisation of formate into carbon dioxide and water occurs in the soil in the vicinity of the road thus preventing further transport. By the end of the first monitoring season, use of potassium formate did not have any harmful effects on groundwater quality or vegetation near the road slopes. Monitoring of groundwater quality for detecting the possible delayed effects will continue in 2004.</p>											
Keywords	biodegradation, chloride, de-icing, environment effects, formate, groundwater, road maintenance, salt, soil, water quality											
Publication series and number	The Finnish Environment 675											
Theme of publication	Environmental Protection											
Project name and number, if any	Migration of alternative deicing chemicals in aquifers (MIDAS) A06025											
Financier/ commissioner	Finnish Road Administration, Civil Aviation Administration, Ministry of the Environment											
Project organization	<table><tr><td>ISSN 1238-7312</td><td>ISBN 952-11-1622-6</td><td>952-11-1623-4 (PDF)</td></tr><tr><td>No. of pages 53</td><td colspan="2">Language Finnish</td></tr><tr><td>Restrictions Public</td><td colspan="2">Price 8 e</td></tr></table>			ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-1622-6	952-11-1623-4 (PDF)	No. of pages 53	Language Finnish		Restrictions Public	Price 8 e	
ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-1622-6	952-11-1623-4 (PDF)										
No. of pages 53	Language Finnish											
Restrictions Public	Price 8 e											
For sale at/ distributor	Edita Publishig Ltd., P.O. Box 800, FIN-00043 Edita Finland, Phone +358 20 450 00 Mail orders: Pohne +358 20 450 05, telefax +358 20 450 2380 Internet: www.edita.fi/netmarket											
Financier of publication	Finnish Environment Institute, P.O.Box 140, FIN-00251 Helsinki, Finland											
Printing place and year	Edita Prima Ltd. Helsinki 2004											



YMPÄRISTÖN- SUOJELU

Kaliumformiaatin hajoaminen maaperässä ja pohjavedessä – MIDAS-loppuraportti

Midas-tutkimuksen (Migration of Alternative De-icing Chemicals in Aquifers) tavoitteena (1998-2003) oli tuottaa tietoa liukkaudentorjunta-aineiden vaikutuksista pohjaveden laatuun sekä löytää vähiten pohjaveden laatua muuttavia ja ympäristöä kuormittavia, natriumkloridille (NaCl) vaihtoehtoisia aineita. Tässä raportissa esitetään Kauriansalmen pohjavesialueella tehdyn maastotutkimuksen tuloksia. Kaakkois-Suomessa sijaitseva Kauriansalmen pohjavesialue valittiin edustamaan pieniä ja matalia pohjavesialueita, joissa orgaanisten liukkaudentorjunta-aineiden mahdollisesti aiheuttamat pohjaveden laadun muutokset olisivat nopeimmin havaittavissa.

Kaliumformiaatti (HCOOK) eli muurahaishapon kaliumsuola, on pienikokoinen orgaaninen molekyyli ja se hajosi mikrobiologisesti Suomenniemen Kauriansalmen maaperässä. Hajoaminen tapahtui nopeasti Suomen maaperässä vallitsevista kylmistä olosuhteista huolimatta. Tutkimusalueella liukkaudentorjunta-aineen hajoaminen tapahtui täysin pohjaveden yläpuolella olevissa maakerroksissa hiilidioksidiksi ja vedeksi. Kalium pidättyi maaperään. Yhden talven (2002-2003) mittaisen kaliumformiaatin koekäytön jälkeen alueen kasvillisuuden, maaperän ja pohjaveden laadussa ei havaittu muutoksia seuraavaan talvikauteen mennessä. MIDAS-tutkimuksen tulokset osoittavat, että kaliumformiaatti on pohjavedelle haitattomampi liukkaudentorjunta-aine kuin perinteinen tiesuola.

Kaliumformiaatti on noin 15 kertaa perinteistä tiesuolaa kalliimpaa, mikä todennäköisesti saattaa rajoittaa kaliumformiaatilla suolausta vain aiemmin kloridilla likaantuneille pohjavesialueille. Viime vuosikymmenien aikana runsaasti suolattavilla teillä tiesuolan pääsy pohjaveteen on pyritty estämään pohjavesisuojausilla ja ohjaamalla natriumkloridipitoiset valumavedet pohjavesialueen ulkopuolelle. Sen sijaan Kauriansalmen pohjavesialueella kalium pidättyi maaperään ja formiaatti hajosi hiilidioksidiksi ja vedeksi, jotka ovat pohjavedessä haitattomia yhdisteitä.

Tässä loppuraportissa esitetyt tulokset kannustivat tutkimusryhmää jatkamaan pohjaveden laadun seurantaa myös seuraavana talvikautena ja vuoden 2004 loppuun asti. Laajan tutkimuskokonaisuuden tuloksia hyödynnetään jatkossa valittaessa muita Suomen vedenhankinnan kannalta tärkeitä pohjavesialueita, joilla voitaisiin suositella vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden käyttöä. Laajemmin MIDAS-tutkimuksen tuloksia voidaan tulevaisuudessa soveltaa erityisesti Suomen hydrogeologisia olosuhteita vastaavilla alueilla, kuten muissa Pohjoismaissa ja Pohjois-Amerikassa.

Julkaisua on saatavissa myös Internetistä:
www.ymparisto.fi/julkaisut

ISBN 952-11-1622-6
ISBN 952-11-1623-4 (PDF)
ISSN 1238-7312